



**PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**TEORIA DAS OPÇÕES REAIS COMO MÉTODO  
DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO NO SETOR  
HIDROVIÁRIO BRASILEIRO**

Por,  
**Larissa Thaís Santana dos Santos**

**Brasília, 18 de janeiro de 2019**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**TEORIA DAS OPÇÕES REAIS COMO MÉTODO  
DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO NO SETOR  
HIDROVIÁRIO BRASILEIRO**

POR,

**Larissa Thaís Santana dos Santos**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro de Produção.

**Banca Examinadora**

Prof. João Carlos Félix Souza, UnB/ EPR (Orientador)

\_\_\_\_\_

Prof. João Gabriel de Moraes Souza, IPEA /ADM

\_\_\_\_\_

Prof. Peng Yao Hao, IPEA /ADM

\_\_\_\_\_

Brasília, de janeiro de 2019

## **Dedicatória**

*Dedico as duas pessoas mais importantes da minha vida, meus pais, Herminísia e Givaldo, que sempre me apoiam e vibram com cada conquista minha.*

## **Agradecimentos**

*À minha família, minha mãe Herminísia, meu pai Givaldo e meus irmãos Marcel e Vinícius pelo apoio e carinho em mais esta etapa da minha vida. Quero agradecer também ao professor João Carlos Félix Souza pela paciência e disposição de me ensinar e sanar dúvidas em todos os momentos necessários. Obrigada!*

## **RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo aplicar a Teoria das Opções Reais para análise do projeto de investimento hídrico referente ao derrocamento do Pedral do Lourenço, na Hidrovia de Tocantins. A escolha desse método para avaliação de investimento é uma abordagem interessante para os tomadores de decisão pois possibilita a incorporação da flexibilidade gerencial, isto é, oferece ao responsável a oportunidade de analisar cenários e tomar decisões mais embasadas, principalmente em se tratando de uso de verba pública, como é o caso desse projeto. Os resultados indicaram que as propostas de adiamento e expansão são Opções Reais válidas e as estas acrescentaram valores significativos ao Valor Presente Líquido (VPL) tradicional do projeto.

Palavras chave: Teoria das Opções Reais; Flexibilidade gerencial; Valor Presente Líquido; Avaliação de projetos

---

## **ABSTRACT**

The aim of this work is apply the Real Options Theory (ROT) to analyze the water investment project related to the overthrow of Pedral do Lourenço, on the Tocantins Waterway. The choice of this method for investment assessment is an interesting approach for decision makers because it allows the incorporation of managerial flexibility, that is, it offers the manager the opportunity to analyze scenarios and make more informed decisions, mainly in the case of use of public funds, which is the case of this project. The results indicated that the postponement and expansion Real Options proposals are valid and they have added significant amounts to the project's traditional Net Present Value (NPV).

Key words: Real Options Theory; Managerial flexibility; Net Present Value; Project evaluation

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	10
1.2.	Objetivo Geral.....	12
1.3.	Objetivos Específicos.....	12
1.4.	Estrutura do Trabalho .....	12
2.	MÉTODOS TRADICIONAIS E ANÁLISE DE OPÇÕES REAIS .....	14
2.1.	Investimento e projeto de investimento .....	14
2.2.	Avaliação Econômica de Projetos.....	15
2.3.	Fluxo de Caixa Descontado e Valor Presente Líquido .....	16
2.4.	Avaliação das técnicas tradicionais para análise de investimento.....	17
2.5.	Teoria de Opções Financeiras .....	19
2.6.	Analogia entre Opções Financeiras e Opções Reais .....	20
2.7.	Opções Reais .....	21
2.8.	Métodos de Análise de Opções Reais e de Otimização sob Condição de Incerteza ...	23
2.8.1.	Black & Scholes .....	23
2.8.2.	Binomial .....	24
2.9.	Método de Monte Carlo .....	27
2.10.	Metodológica de Copeland e Antikarov.....	27
3.	CONTEXTO SOBRE O SETOR HIDROVIÁRIO NACIONAL.....	29
3.2.	Logística de Transportes .....	29
3.3.	Projetos de Investimento em Infraestrutura Logística.....	31
4.	INFORMAÇÕES SOBRE O PROJETO DE INVESTIMENTO NA HIDROVIA TOCANTINS – PEDRAL DO LOURENÇO E METODOLOGIA A SER APLICADA.....	33
4.2.	Contexto da região do Pedral do Lourenço.....	33
4.3.	Cálculo do VPL sem flexibilidade .....	38
4.4.	Definição de receitas para o investimento.....	38
4.5.	Processo de escolha do tipo de opção para o setor público.....	42
4.6.	Definição do modelo a ser utilizado para o cálculo da Opção Real .....	43
5.	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NA ANÁLISE DO PROJETO DE INVESTIMENTO NA HIDROVIA TOCANTINS – PEDRAL DO LOURENÇO.....	44
5.2.	Custo e despesa.....	45
5.3.	Valores de fontes de receita .....	45
5.3.1.	Demanda Estimada.....	45
5.3.2.	Economia - Frete.....	48
5.3.3.	Economia - Custos sociais .....	49
5.4.	Valores de fonte de receita final.....	50
5.5.	Valor Presente Líquido .....	50

5.6.	Modelo de Black & Scholes do projeto.....	51
5.6.1.	Análise – Opção de Adiamento.....	52
5.6.2.	Análise – Opção de Expansão .....	54
6.	CONCLUSÃO .....	55
	Referências Bibliográficas.....	58
	APÊNDICE .....	64

## **LISTA DE SIGLAS**

ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquáticos
ASSR	Ativo Subjacente Sujeito ao Risco
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CEDE	Centro de Estudos e Debates Estratégicos – Câmara dos Deputados
CNA	Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCE	Ministério do Comércio Exterior
MD	Ministério da Defesa
MT	Ministério do Trabalho
SNTTA	Secretaria Nacional de Transportes Terrestre e Aquaviário
TJLP	Taxa de Juros à Longo Prazo



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Investimento em infraestrutura e déficit atual, em % PIB _____	11
Figura 2: Relação entre a flexibilidade gerencial e incerteza _____	18
Figura 3: Comparação entre as variáveis de entrada em uma opção real x opção financeira ____	21
Figura 4: Grade binomial com três períodos _____	26
Figura 5: Etapas do Processo de Avaliação de Investimento aplicando Opções Reais _____	29
Figura 6: Transporte de grãos com destino às instalações portuárias _____	34
Figura 7: Movimentação de carga agrícola no Arco Norte se compara às demais regiões ____	34
Figura 8: Diagnóstico de Navegabilidade no rio Tocantins, trecho Vila do Conde – PA a Peixe - TO _____	35
Figura 9: Eixo de Empreendimentos no rio Tocantins, trecho Vila do Conde-PA - Marabá-PA até jusante UHE-Serra da Quebrada _____	36
Figura 10: Fluxo de carga previsto para a região do MATOPIBA e Pará para a Hidrovia do Tocantins _____	37
Figura 11: Comparativo entre modais de transporte _____	39
Figura 12: Projetos logísticos no Norte do país – Obras _____	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de Opções Reais _____	22
Tabela 2: Dimensões do comboio tipo B e sua capacidade de transporte de carga _____	44
Tabela 3: Valores consolidados da movimentação de soja e minério de ferro para exportação por meio da hidrovia. No ano 14, a capacidade operacional máxima será alcançada _____	46
Tabela 4: Valores da movimentação de soja em cada Estado _____	47
Tabela 5: Custo do frete total, valor da redução do custo do frete alcançado pelo uso do modo hidroviário e principais produtos movimentados _____	48
Tabela 6: Custo social total e valor da redução do custo social alcançado pelo uso do modo hidroviário e principais produtos movimentados _____	49
Tabela 7: Valores referentes a economia final alcançada pelo uso de vias hidroviária _____	50
Tabela 8: Determinação da variância. Distribuição de probabilidade normal – média e desvio padrão de cargas analisadas _____	51
Tabela 9: Simulação de demandas. Distribuição de probabilidade normal – média e desvio padrão de cargas analisadas _____	51
Tabela 10: Detalhes sobre os valores obtidos pelo método Black & Scholes - opção de adiamento. Valores dos VPLs expandidos _____	52
Tabela 11: Valor da opção real de adiamento no ano 5 _____	53
Tabela 12: Valor da opção real de adiamento no ano 6 _____	53
Tabela 13: Valor da opção real de expansão no ano 14 _____	54

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Tipos de Opções Reais- investimentos de caráter governamental \_\_\_\_\_42

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a deficiência em infraestrutura é histórica. A falta de investimento nas áreas desse setor – saneamento, energia, telecomunicações e logística - impacta negativamente as atividades econômicas do país e o bem-estar geral da população.

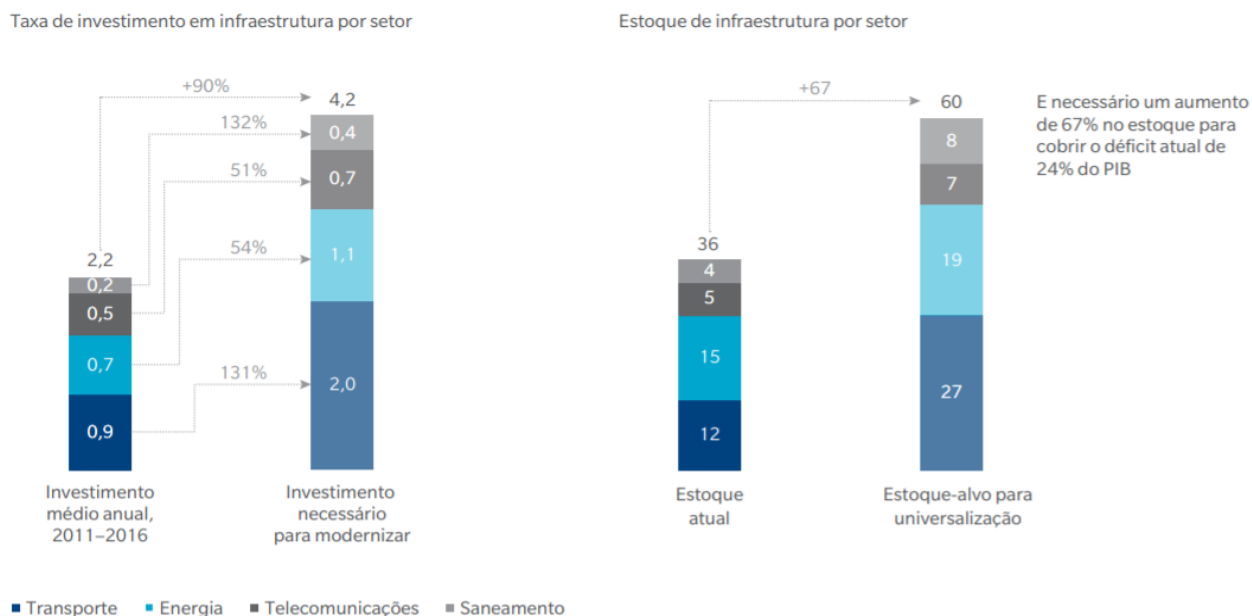
A realidade é que as quedas no percentual de investimento disponibilizado pelo Governo fazem com que haja um déficit na oferta de infraestrutura no país. Hoje, o Brasil possui um estoque total de infraestrutura de 36% do PIB, enquanto estima-se que a universalização, isto é, a modernização da infraestrutura, requer um estoque de 60% (FRISCHTAK e MOURÃO, 2018).

Como tentativa para a retomada de investimento e, forma de aproveitar a melhora em indicadores como, por exemplo, o aumento da renda da população, aumento crescente da arrecadação fiscal federal e, principalmente, o aumento das exportações e importações, os últimos governos criaram vários programas de estímulo ao investimento: Programa de Aceleração de Crescimento (PAC) 1 e 2, Programa de Investimento em Logística (PLI) 1 e 2 e CRESCER/Avançar.

Mesmo com esses novos programas, segundo informação apontada no estudo “Infraestrutura: regras e incentivos” realizado pela consultoria Oliver Wyman em 2017, para que o percentual de 60% de universalização seja alcançado, torna-se fundamental investir 4% do PIB ao ano por 25 anos, o que representa um aumento de mais de 80% em relação à taxa anual média de 2,2% observada entre 2011 e 2016.

Analisando especificamente o setor logístico - rodoviário, ferroviário e hidroviário-, o Índice de Desempenho Logístico (IDL) de 2018, ranking desenvolvido pelo Banco Mundial, indica que a logística brasileira é, na média, menos eficiente que a de outros países emergentes, sendo ainda melhor que a de países da América Latina e Caribe. De acordo com o estudo da consultoria citada anteriormente, esse setor requer uma taxa de investimento 131% maior que a observada entre 2011 e 2016 para atingir o investimento alvo de 2% do PIB e cobrir um déficit equivalente a 14% do PIB em 25 anos (Figura 1).

**Figura 1: Investimento em infraestrutura e déficit atual, em % PIB**



Fonte: Frischtak e Mourão (2018) e Wyman (2018)

\*As frações podem não somar 100% devido aos arredondamentos

No último estudo divulgado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura do Transporte (DNIT), a carteira de obras sob sua responsabilidade, para o período de 2016 – 2019 – está prevista para aproximadamente 31,3 bilhões. Valor orçamentário 37% menor se comparado ao valor de 50 bilhões disponibilizado ao departamento no período 2011 – 2014.

Analisando especialmente o caso do transporte hidroviário, o planejamento apresentado no Plano Nacional de Logística e Transporte – PNLT que orienta os investimentos a serem realizados entre 2008 e 2023, recomendava para o período de 2008 a 2011 valores de R\$ 7,2 bilhões em navegação interior (MT e MD, 2007). Até o ano de 2011, os investimentos realizados foram apenas de 22% dos investimentos recomendados pelo PNLT (CNT, 2014). No último orçamento referente ao ano de 2016, o valor aplicado às obras hidroviárias chegou ao valor de 1,6 bilhões (MT, 2016). Esse valor é maior do que o aplicado durante o período 2008 – 2011 e pode ser considerado algo positivo para o futuro do modo hidroviário.

Ainda assim, há poucos projetos direcionados a execução de obras de melhorias e expansão da malha hidroviária. O Brasil dispõe capacidade de transporte hidroviário em volumes superiores

ao explorado e utilizado atualmente e essa capacidade só será alcançada quando o setor garantir que a alocação dos recursos será feita de maneira inteligente e eficiente.

## **1.2. Objetivo Geral**

O trabalho tem como objetivo aplicar a Teoria de Opções Reais para análise quantitativa do investimento público a ser realizado no projeto de Derrocamento do Pedral do Lourenço, na Hidrovia de Tocantins.

## **1.3. Objetivos Específicos**

- Aplicar a Teoria de Opções Reais no projeto de investimento do Derrocamento do Pedral do Lourenço, na Hidrovia de Tocantins, a fim de estimar o valor das opções reais de adiamento e expansão;
- Comparar o valor do VPL tradicional com o VPL expandido obtido pelas opções.

## **1.4. Estrutura do Trabalho**

O trabalho está organizado da seguinte maneira:

- Capítulo 1, faz uma breve introdução sobre o cenário de investimentos em infraestrutura no Brasil e também alerta sobre a necessidade e importância de se investir o recurso disponibilizado ao setor hidroviário de maneira eficiente. São apresentados o objetivo geral e específicos do trabalho.
- Capítulo 2, traz uma revisão da literatura, no qual são discutidas questões de investimento e projetos de investimento, avaliação econômica de projetos, Fluxo de Caixa Descontado (FCD) e Valor Presente Líquido (VPL), avaliação das técnicas tradicionais para análise de investimento, opções financeiras e reais, método de Monte Carlo e a metodologia de Copeland e Antikarov.
- Capítulo 3, apresenta os programas e ações voltadas ao setor hidroviário nacional e expõe o pouco valor investido no setor, em comparação aos outros modais de transporte.
- Capítulo 4, apresenta a metodologia de pesquisa de estudo a ser aplicada no trabalho.
- Capítulo 5, traz a análise e avaliação do estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da obra de derrocamento do Pedral do Lourenço no rio Tocantins, realizado pelo governo, sob a ótica de análise da Teoria das Opções Reais.

Importante destacar que o presente trabalho utilizou como base a tese “Proposta Alternativa de Avaliação Econômica Aplicada a Investimentos em Infraestrutura Hidroviária Brasileira Utilizando Opções Reais” de Carvalho (2015), onde o mesmo, tem como objetivo: “a proposição de um modelo alternativo de avaliação econômica dos investimentos em infraestruturas governamentais no setor de transporte hidroviário de forma a auxiliar os gestores públicos com ferramentas de flexibilidade gerencial na tomada de decisão para execução dos projetos”. A tese avalia a implementação do projeto de derrocamento do Pedral do Lourenço – Hidrovia do Tocantins por meio da Teoria das Opções Reais (TOR). Para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), o autor determina a receita a partir dos parâmetros de frete, de poluição atmosférica e de acidentes.

Nesse estudo, a implementação do projeto de investimento referente ao derrocamento do Pedral Lourenço também será avaliada por meio da TOR. A metodologia será similar à utilizada Ronchi, Moura e Rocha (2013) e Carvalho (2015), entretanto, os parâmetros para avaliação da receita abrangerão outros pontos da questão ambiental.

## **2. MÉTODOS TRADICIONAIS E ANÁLISE DE OPÇÕES REAIS**

Este capítulo aborda uma revisão bibliográfica no que abrange os principais conceitos inerentes ao tema da pesquisa. São discutidos os conceitos de métodos tradicionais de avaliação de investimentos, opções financeiras, opção real e metodologia de Copeland e Antikarov.

### **2.1. Investimento e projeto de investimento**

É possível conceituar investimento como ato pelo qual os agentes econômicos adquirem bens (produtos ou serviços), mediante desembolso de recursos (valores monetários ou de títulos) na expectativa de receber um retorno futuro superior aos recursos investidos, sendo que tal retorno pode ser proveniente de ganhos periódicos derivados da utilização do bem e/ou de um ganho único, proveniente da venda. (ASSAF NETO, 2007). Caso os agentes financeiros não vejam retornos satisfatórios no investimento, invariavelmente não o farão (GITMAN, 2004).

Dentro da perspectiva financeira, o bom investimento é aquele que após ter levantadas e cuidadosamente analisadas as informações sobre suas variáveis (risco, retorno), é o que melhor se alinha às expectativas do investidor (DAMODARAN, 2006). Sob essa perspectiva do autor, o investimento é ótimo desde que maximize a relação risco versus retorno dos agentes.

Com base na teoria de investimento sob incerteza, segundo Dixit e Pindyck (1994), em um investimento em capacidade produtiva, existem três importantes características que devem ser consideradas: irreversibilidade, incerteza e timing. A primeira característica aponta que os investimentos são irreversíveis, parcial ou totalmente. Já a segunda, expõe a existência de incertezas sobre os fluxos de caixa futuros, uma vez que não há forma de ter controle sobre a ocorrência de eventos futuros. E por último, indica que o investidor possui algum controle para ajustar o momento da decisão de investimento a uma oportunidade.

A irreversibilidade pode ser parcial ou total, ou seja, depois de realizado um investimento, caso o responsável pela ação se arrependa, não é possível recuperar toda ou a maior parte do capital investido. Segundo Henry (1974), optar por uma decisão irreversível significa reduzir por um longo período de tempo a variedade de escolhas que seriam possíveis no futuro. Por isso, a irreversibilidade faz com que a escolha cuidadosa do melhor momento tenha ainda mais valor.

Durante um processo de investimento, é provável que mudanças econômicas aconteçam e que novas informações apareçam e as consequências desses fatores inesperados gerem incertezas,



principalmente sobre seus fluxos de caixa. O timing do investimento é muitas vezes subestimado. O gerente tem de decidir se é melhor investir já ou se é melhor aguardar por novas informações e/ou melhores condições. E essa decisão existe pois raramente um investimento é do tipo “agora ou nunca” (QUIGG, 1993; DIXIT; PINDYCK, 1994, INGERSOLL; ROSS, 1992).

Os projetos de investimentos são planos desenvolvidos pelos agentes com o objetivo de levantar, mensurar e avaliar as diversas variáveis pertinentes ao investimento pretendido, servindo como instrumentos de avaliação da sua viabilidade dadas as concepções dos agentes e as informações disponíveis. (POMERANZ, 1988).

Em geral, se utiliza o termo “projetos de investimentos” para descrever planos de investimentos em ativos reais, tais como: aquisição de bens, instalação de empresas, expansão de infraestrutura dentre outros, contudo, o termo também pode ser utilizado para investimentos em ativos financeiros, tais como títulos de dívida ou propriedade.

De acordo com Minardi (2000), na elaboração dos projetos de investimentos, os principais componentes a serem considerados são: avaliação mercadológica, definição geográfica e dimensional, avaliação econômica, estrutural e avaliação socioambiental. Esses componentes geram impactos diretos e também custos de oportunidade <sup>1</sup> na decisão de investir em um projeto e devem ser adequadamente analisados e incorporados na avaliação para melhor reconhecimento de oportunidades no mercado.

Em projetos de infraestrutura, por exemplo, o primeiro aspecto citado é referente ao comportamento do mercado em foco; o segundo é o tamanho e o local que sofrerá a interferência; o terceiro é a viabilidade econômica; o quarto avalia detalhes do funcionamento do projeto em questão e o quinto é a avaliação socioambiental referente aos estudos ambientais.

Dada essa contextualização, o projeto de derrocamento do Pedral do Lourenço é considerado um projeto de investimento.

## **2.2. Avaliação Econômica de Projetos**

A avaliação econômica permite aos gestores conhecer e estimar as vantagens e desvantagens de um projeto, seja no setor público ou no privado. Tendo acesso à mais dados e

---

<sup>1</sup> O custo de oportunidade pode ser conceituado como o valor máximo do uso alternativo dos recursos disponíveis, ou seja, envolve uma escolha e considera a possibilidade de maior potencial de ganho dentre todas as existentes.

informações, pode-se definir em qual projeto priorizar recursos. Principalmente no contexto de investimento em obras como finalidade de uso dos recursos públicos, o Governo, deve considerar aqueles projetos que irão maximizar o bem-estar da sociedade (CARVALHO, 2015).

No Governo Federal, projetos de grande dimensão devam apresentar Estudos de Viabilidade de Projetos de acordo com o Manual de Investimentos em Obras de Grande Vulto. Os projetos classificados nessa categoria são aqueles que apresentam valor total ou superior a R\$ 50 milhões que utilizam recursos dos orçamentos fiscal e da seguridade social ou aqueles com custo total igual ou superior a R\$ 100 milhões que são financiados pelos recursos do orçamento de investimentos das estatais (BRASIL, 2008).

De acordo com o manual citado anteriormente, os indicadores utilizados para análise de projetos são Fluxo de Caixa Descontado (FCD), Valor Presente Líquido (VPL), o cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback*. No caso de projetos de infraestrutura de transportes, o governo solicita, além desses indicadores já apresentados, a relação entre o Benefício e o Custo (B/C) e a análise de sensibilidade (DNIT, 2008).

Na sessão a seguir, apenas serão citados o FCD e o VPL, pois, são esses os indicadores necessários para o uso e cálculo de Opções Reais.

### **2.3. Fluxo de Caixa Descontado e Valor Presente Líquido**

O Fluxo de Caixa Descontado (FCD) consiste basicamente em estabelecer o valor presente de uma série de fluxos de caixas futuros (GITMAN, 2004). O valor de um ativo é baseado no valor de seus fluxos de caixa futuros, projetados ao longo de seu tempo de vida e descontados por uma taxa que representa o valor do dinheiro ao longo do tempo e o risco.

A maior precisão de resultados é obtida em casos em que os fluxos de caixa estimados têm boa previsibilidade, o tempo de vida do ativo é claro e a taxa de desconto é bem estabelecida. Deste modo, o futuro é tido como previsível e a análise considera um cenário fixo e consolidado de tomada de decisão ao longo do tempo.

O Valor Presente Líquido (VPL) é obtido subtraindo-se o investimento inicial de um projeto ( $I$ ) do valor presente de suas entradas de caixa ( $FC_j$ ), descontadas a uma taxa de desconto ( $k$ ). Essa taxa corresponde ao custo de oportunidade para os tomadores de decisão, considerando-se o nível

de risco do empreendimento. Desta forma, o valor presente dos fluxos de caixa descontados é considerado “líquido”. Pode ser calculado através da Equação 1.

(1)

$$VPL = -I + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+k)^j}$$

Onde,

k é taxa de desconto;

j é o enésimo período genérico (j = 1 a j = n), percorrendo todo o fluxo de caixa;

FCj é um fluxo genérico para t = [1... n] que pode ser positivo (ingressos) ou negativo (desembolsos);

I é investimento inicial de um projeto

VPL é o valor presente líquido descontado a uma taxa k;

n é o número de períodos do fluxo de caixa.

A Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) é uma taxa nominal cobrada nos financiamentos concedidos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) a fim de fomentar projetos para o crescimento do país. A maioria dos projetos públicos possuem algum financiamento advindo do BNDES e, por esse motivo, é comum a utilização do valor da TJLP como taxa de desconto (k) em projetos governamentais.

Quando o VPL é maior que zero, significa que o investimento é viável e deverá trazer o retorno esperado ao investidor. Dessa forma, a existência de um VPL maior que zero é definida como o principal critério de aceitação de um determinado projeto e, ainda, o maior VPL é considerado o critério de escolha quando se realiza a comparação entre diversas alternativas de investimento (MACEDO & NARDELLI, 2009).

## **2.4. Avaliação das técnicas tradicionais para análise de investimento**

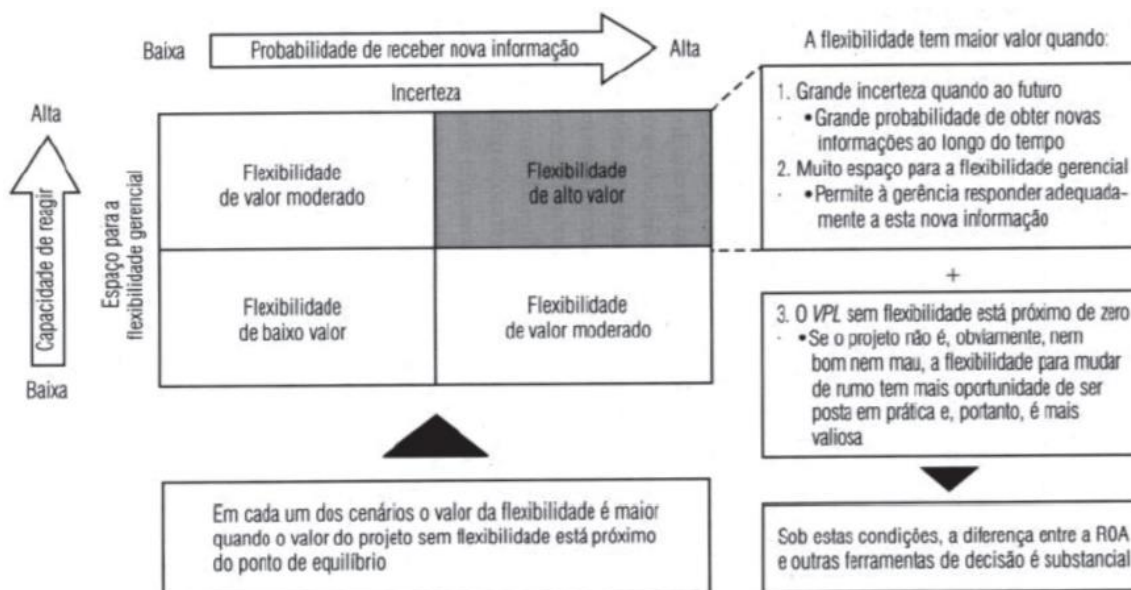
O FCD e VPL são os métodos tradicionais análise de um investimento. Myers (1984) afirma que o uso deles pode falhar em planejamentos estratégicos, mesmo que seja aplicado corretamente pois o referido método não é capaz de captar o valor da flexibilidade gerencial, riscos e incerteza e a irreversibilidade.

Sobre a flexibilidade gerencial, riscos e incerteza, de acordo com Trigeorgis (1995), tais critérios partem do pressuposto da existência de uma estratégia operacional estática e contínua, sem considerar possíveis informações que possam surgir durante a execução do projeto, o que, consequentemente, afeta as atividades decisórias.

Outro ponto a ser observado é a forma como a irreversibilidade do investimento é interpretada por essas análises: a resposta é sempre sim ou não; não há meio termo. Caso o VPL seja maior ou igual a zero o investimento deve ser realizado imediatamente, mas se for menor do que zero se deve desistir de investir, não havendo a possibilidade de se considerar a postergação do investimento na expectativa de se obter novas informações favoráveis à sua execução (LIMA & SUSLICK, 2001).

Segundo DIXIT & PINDYCK (1994), as grandes mudanças ocorridas no cenário econômico, onde a incerteza impera em quase todos os mercados, têm feito com que as técnicas tradicionais não sejam suficientes para captar determinadas características dos projetos de investimentos. E justamente para absorver a perspectiva de flexibilidade gerencial e incerteza dentro do projeto é que surgiram novas técnicas de análise (Figura 2). Dentro elas, destaca-se a Teoria de Opções Reais (TOR), teoria que será explorada e aplicada para a avaliação do investimento em estudo deste trabalho.

**Figura 2: Relação entre a flexibilidades gerencial e incerteza**



Fonte: Copeland e Antikarov (2001)

## 2.5. Teoria de Opções Financeiras

A fim de facilitar a compreensão das Opções Reais, método que será explorado neste trabalho, inseridas no contexto da análise de projetos de investimentos, faz-se necessário, abordar o tema da Teoria de Opções Financeiras.

Uma opção é o contrato assumido entre duas partes, que dá ao detentor um direito, mas não a obrigação, de comprar ou vender uma quantidade de ativo específica à um preço estabelecido em uma ou até determinada data (MINARDI, 2004). O ativo ao qual a ação está associada pode ser ações, índices, contratos futuros etc.

Existem dois tipos básicos de opções (HULL, 1995; MINARDI, 2004; MONTEIRO, 2003):

- CALL OPTION (opção de compra): oferece ao seu detentor o direito, mas não a obrigação, de comprar um determinado ativo em uma determinada data, por um preço estabelecido;
- PUT OPTION (opção de venda): oferece ao seu detentor o direito, mas não a obrigação, de vender um determinado ativo em uma determinada data, por um preço pré-estabelecido. A data determinada no contrato é conhecida como a data de vencimento, data de exercício ou *strike date*, o preço é o preço de exercício ou *strike price*.

As opções podem ser ainda do tipo americana ou europeia. As opções americanas são aquelas que podem ser exercidas em qualquer momento até a sua data de vencimento e as opções europeias só podem ser exercidas na sua data de vencimento.

Conforme Minardi (2004) existem duas posições para cada tipo de opção: a posição comprada (long), que significa ter comprado uma opção e a posição vendida (short), que significa ter vendido ou emitido uma opção.

De maneira geral, um investidor pode assumir quatro posições em opções:

- Compra de opção de compra – aquele que compra uma opção de compra;

(2)

(*long in a call*):        -  $\max (S_t - X, 0)$ ;

- Compra de opção de venda – aquele que compra uma opção de venda;

(3)

(*long in a put*):        -  $\max (X - S_t, 0)$ ;

- Venda de opção de compra – aquele que lança uma opção de compra;

(4)

$$(short\ in\ a\ call): \quad - \max (St - X, 0) = \min (X - St, 0)$$

- Venda de opção de venda – aquele que lança uma opção de venda;

(5)

$$(short\ in\ a\ put): \quad - \max (X - St, 0) = \min (St - X, 0)$$

## 2.6. Analogia entre Opções Financeiras e Opções Reais

Conforme se definiu anteriormente, uma opção de financeira dá ao seu detentor o direito, mas não a obrigação, de comprar ou vender um determinado ativo em uma determinada data, por um preço pré-estabelecido. Já as opções reais dão o direito, mas não a obrigação, de tomar uma decisão em relação a um ativo real, ou não financeiro, tais como investimento em pesquisa, expansão de modelo de negócio e aumento da capacidade produtiva. Logo, a abordagem de avaliação por meio de opções reais é uma extensão da teoria de opções financeiras.

Sousa Neto et al. (2008) afirmam que, de forma semelhante às financeiras, o valor das opções reais depende de importantes variáveis:

- o valor do Ativo Subjacente Sujeito ao Risco (ASSR), valor do projeto ou do ativo real desconsiderando as flexibilidades gerenciais;
- os dividendos, fluxos de caixa descontados futuros produzidos pelo projeto;
- a volatilidade do preço do ativo, riscos e incertezas relativos ao retorno futuro esperado do investimento;
- o preço de exercício, montante necessário a ser investido para efetuar a ação;
- o tempo de expiração da opção, referente ao prazo de vencimento e
- a taxa de juros livre de risco.

A Figura 3 mostra uma visão geral das variáveis de entrada para uma opção de compra de um projeto de investimento em comparação com opção de compra de uma ação.

**Figura 3: Comparação entre as variáveis de entrada em uma opção real x opção financeira**

Opções Reais (oportunidades de investimento)	Variável	Opções de Compra
Valor presente dos benefícios a serem obtidos	$S$	Preço da ação
Investimento necessário para exercer a opção	$X$	Preço do exercício
Tempo possível de diferimento da opção	$t$	Tempo de validade da opção
Valor do dinheiro no tempo	$r_f$	Taxa de juros livre de risco
Risco do projeto (volatilidade dos fluxos financeiros esperados)	$\sigma^2$	Volatilidade do preço da ação

Fonte: Luehrman (1998)

Ao avaliar as possibilidades de investimento em ativos reais, o agente estará tomando decisões que impactarão os planos e o capital de uma empresa e por isso, precisará levantar e analisar cuidadosamente os diversos cenários possíveis a fim de identificar qual é o investimento ótimo; a relação ótima entre risco versus retorno.

## 2.7. Opções Reais

Para Copeland e Antikarov (2002, p.6), “[...] uma opção real é o direito, mas não a obrigação, de empreender uma ação a um custo determinado (preço do exercício), por um período preestabelecido (a vida da opção) ”.

O ponto principal é a questão levantada sobre o direito de empreender uma ação. Diz respeito as possibilidades de análise de investimento, garantindo ao responsável pelo projeto a oportunidade de tomar diferentes decisões. Segundo Minardi (2004), a flexibilidade em adaptar futuras ações em resposta às alterações do mercado expande o valor do custo de oportunidade do investimento e com isso, possibilita a maximização de lucros, enquanto limita as perdas às expectativas iniciais da administração sob um gerenciamento passivo.

A Teoria das Opções Reais adapta o Valor Presente Líquido (VPL) ao contexto da flexibilidade gerencial por meio da adição do valor da opção de gestão estratégica ao VPL tradicional - estático ou passivo - dando origem a um VPL expandido, como mostrado na Equação 6, a seguir (TRIGEORGIS, 2000):

$$\text{VPL expandido} = \text{VPL tradicional} + \text{Valor flexibilidade gerencial}$$

A análise da fórmula exposta permite concluir que projetos podem ser aceitos mesmo possuindo VPL tradicional negativo (DIWAN, 2004). Isso se deve ao fato do valor referente a flexibilidade gerencial poder ser suficientemente alto para converter VPLs tradicionais negativos em VPLs expandidos positivos (DIWAN, 2004). Desta forma, investimentos aparentemente não atraentes (ou com valor presente líquido próximo de zero) excluídos anteriormente da chance de investimento, podem tornar-se interessantes caso sejam vistos como prêmios pagos para se ter o direito a possibilidades positivas ilimitados no futuro.

A maximização de retorno por meio do método de opções reais exige dos investidores conhecimento tanto sobre as oportunidades do mercado de interesse quanto das oportunidades inerentes ao projeto de investimento pois, somente assim, os administradores do projeto terão insumos para optar pela melhor opção.

As opções reais são classificadas em categorias mutuamente excludentes, de acordo com o grau de flexibilidade que proporcionam ao projeto (SOUZA NETO et al., 2008). As classificações são apresentadas na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1: Tipos de Opções Reais**

<b>Tipo de Opção</b>	<b>Descrição</b>	<b>Aplicações</b>
Diferir/adiar	Espera-se X anos para avaliar se os preços encontrados justificam a implantação e o investimento no projeto.	Indústrias de extração de recursos naturais, mercado imobiliário, exploração de agrícola, construção de infraestrutura de transporte etc.
Alterar a escala (expandir, contrair, interromper e retomar)	Considerando as condições de mercado favoráveis e a leitura correta dos indícios, é possível a expansão. Em casos menos favoráveis que o esperado, pode-se reduzir a operação/investimento, ou até paralisar para retomar no futuro.	Indústria energética, empreiteiras, mineração, indústria de bens de consumo, investimentos de longo prazo e realizados em etapas sucessivas, expansão viária.
Abandono	Se condições de mercado declinam drasticamente, existe a opção de abandonar o projeto permanentemente e vender ativos e instrumentos de uso.	Indústria de capital intensivo, linhas aéreas, linhas férreas, introdução de novos produtos em mercados incertos.



Conversão	As alterações nos preços ou demandas mudam rapidamente no mercado, o gestor pode mudar o portfólio da fábrica, ou alterar os insumos para a produção (por alto custo do mesmo, p.ex).	Setor energético, químico, de eletrônicos, de maquinários.
Composta	Em investimento que são realizados em etapa, existe a opção de abandonar ou seguir para a fase adiante, considerando os resultados já alcançados e as condições específicas do momento. Neste caso, cada etapa pode ser considerada uma opção.	Indústria de capital intensivo, investimentos em P&D de novos produtos, projetos de longo prazo com uso de capital intensivo.
Crescimento com múltiplas interações	Projetos que envolvam a combinação de várias opções acima descritas.	Indústrias de alta tecnologia, de inovação e investimento em P&D, operações multinacionais, aquisições estratégicas, projeto e negócios já descritos anteriormente.

Fonte: Trigeorgis (1996) e Carvalho (2015), adaptado

## 2.8. Métodos de Análise de Opções Reais e de Otimização sob Condição de Incerteza

### 2.8.1. Black & Scholes

Em *The pricing of options and corporate liabilities*, estudo desenvolvido por Black e Scholes em 1973, é apresentada a ferramenta matemática que precifica o valor da opção financeira. Conforme Minardi (2004), as premissas do modelo são:

- o preço do ativo segue o movimento estocástico browniano geométrico com média  $\mu$  e desvio-padrão  $\sigma$  constantes, e sua distribuição é lognormal, o que não permite a existência de preços negativos;
- não existem requerimentos de margens de garantia;
- não há custo de transação, nem tributação para compra ou venda;
- não existe pagamento de dividendos durante a vida do derivativo do papel;
- não existe arbitragem;
- o papel é comercializado continuamente;
- a taxa livre de risco é constante e igual para diferentes maturidades;
- a opção é do tipo europeia, podendo ser exercida somente no final do projeto;
- é uma opção de compra.

No modelo de Black e Scholes (1973), o valor de uma opção de compra (*call*) europeia pode ser obtida pela Equação 7:

$$C_0 = S_0 N(d_1) - X e^{-R_f \tau} N(d_2) \quad (7)$$

E  $d_1$  e  $d_2$  são obtidos a partir das Equações 8 e 9 abaixo:

$$d_1 = \frac{\ln(S_0 / X) + (R_f + 0,5\sigma^2) \times \tau}{\sigma \sqrt{\tau}} \quad (8)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{\tau} \quad (9)$$

Onde:

$C_0$	Valor da opção de compra.
$S_0$	Preço corrente da ação ou do ativo-objeto (ativo-subjacente)
$N$	Função normal acumulada (valor tabelado, disponível em livros de estatística).
$X$	Preço de exercício da opção
$e$	Número neperiano
$R_f$	Taxa de juros livre de risco ao longo da vida da opção
$\tau$	Tempo até o exercício da opção
$\sigma$	Desvio-padrão do retorno da ação

### 2.8.2. Binomial

O modelo binomial foi introduzido pela primeira vez por Cox, Ross e Rubinstein, em 1979, em seu artigo intitulado *Option Pricing: A Simplified Approach*. O desenvolvimento desse modelo é posterior ao de Black-Scholes (1973), e sua finalidade é tornar os cálculos mais didático e dessa forma, acessíveis a um público maior (MINARDI, 2004).

A técnica do modelo baseia-se na construção de árvores binomiais que representam os vários caminhos que podem ser seguidos pelo preço da ação durante a vida da opção. A árvore de decisão é uma forma gráfica de visualizar consequências das escolhas atuais e futuras e seus

eventos aleatórios considerados (CASAROTO e KOPITTKKE, 2010). Baidya & Castro (2001) destacam que para a sua aplicação não é necessário o uso de modelos estocásticos em tempo contínuo, modelo Black & Scholes, que exigem o uso de técnicas matemáticas mais complexas pois esse modelo incorpora conceitos da teoria das opções em tempo discreto.

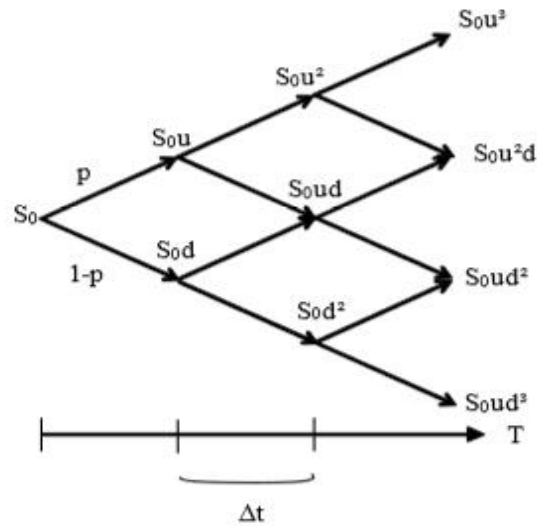
O Modelo Binomial ainda apresenta como premissas, segundo Santos Filho (2003):

- a existência de uma taxa livre de risco positiva e constante;
- a possibilidade de indivíduos aplicarem ou tomarem emprestado o montante desejado a esta mesma taxa livre de risco;
- a não existência de custos de transações, de tributações e de requerimentos de depósitos de margem de garantia;
- o empréstimo tomado pode ser pago somente com a receita das vendas das ações, mas caso esta seja menor que o valor do empréstimo atualizado é dado a moratória da diferença;
- a independência do valor da opção em relação à posição do investidor diante do risco ;
- a dependência do valor da opção ao valor e volatilidade da ação e à taxa de juros livre de risco.

Segundo Lazo (2004), a árvore binomial criada no modelo, mostra a vida útil de uma opção real dividida em determinados períodos de tempo, somente nos quais é possível negociar o preço do ativo. A premissa básica adotada pelo modelo é de não arbitragem, ou seja, o mercado ajusta-se às eventuais oportunidades e por isso utiliza a taxa livre de risco.

Na árvore binomial, o preço de um ativo inicia com um valor,  $S_0$ , e depois assume dois valores diferentes a partir de um ponto no tempo, quando se move para cima como  $uS_0$  (*up jumps*) com probabilidade  $p$  e para baixo como  $dS_0$  (*down jumps*) com probabilidade  $1-p$  no tempo  $t + 1$ , e assim por diante, até que a vida útil seja atingida. Temos  $u > 1$  e  $d < 1$ , e embora não seja rigorosamente necessário, em geral pressupomos que  $u = 1/d$  (YOSHIMURA, 2007). A figura 4 ilustra o modelo de flutuação dos preços das ações baseado em  $S_0$ ,  $u$ ,  $d$  e  $p$ .

**Figura 4: Grade binomial com três períodos**



Fonte: Brandão (2002), adaptado

O processo do método binomial, segundo Copeland e Antikarov (2001), segue um modelo gráfico de árvore de decisões:

(10)

$$C = \frac{pCu + (1 - p)Cd}{1 + rf}$$

Sendo:

(11)

$$Cu = \text{Max} (uV - 1, 0)$$

(12)

$$Cd = \text{Max} (dV - 1, 0)$$

Onde:

C = valor da opção de compra;

Cu = valor da ação em caso de aumento do valor bruto;

Cd = valor da ação em caso de queda do valor bruto;

V = valor bruto da ação;

p = probabilidade neutra ao risco

$r_f$  = taxa livre de risco;

$u = 1 + \Delta u$  (mudança percentual no valor bruto da ação entre períodos, no caso de aumento);

$d = 1 + \Delta d$  (mudança percentual no valor bruto da ação entre períodos, no caso de queda);

## **2.9. Método de Monte Carlo**

O Método de Monte Carlo (MMC) é um instrumento estatístico que permite considerar todas as combinações possíveis de variáveis e, por conseguinte, analisar a distribuição de probabilidade do valor do projeto (BREALEY, MYERS, 1998).

Simulação é um processo de construção de um modelo matemático de um sistema ou de um problema/situação de decisão que envolve variáveis independentes, a fim de, por meio desse processo, se testar e explorar combinações de cenários. O objetivo é que por meio do MMC seja possível analisar as incorporações de fontes de riscos no projeto. A utilização do método parte do pressuposto de que qualquer preço ou fluxo de caixa antecipados flutue, obrigatoriamente, de maneira aleatória.

Para aplicação do método, é necessário que se determine a distribuição de probabilidade e seus parâmetros. Com essa informação, o programa escolhido para a simulação decide aleatoriamente um valor para cada variável e recalcula o valor do fluxo de caixa descontado de cada período, para posteriormente ser calculado o VPL do projeto a cada interação. O processo é repetido quantas vezes for necessário e os novos valores do VPL irão determinar a volatilidade do VPL final.

Segundo Noronha (2009), a simulação de Monte Carlo é, dentre os métodos que utilizam probabilidade na análise de riscos, o mais simples e flexível. Contudo, ele é um processo lento, uma vez que requer um maior tempo para executar as diversas simulações necessárias para a redução dos erros nas estimativas dos resultados esperados.

## **2.10. Metodológica de Copeland e Antikarov**

O processo proposto Copeland & Antikarov (2001) para a avaliação de projetos de investimento utilizando Teoria de Opções Reais (TOR) percorre quatro etapas.

A primeira etapa consiste na realização do cálculo e posterior análise do Valor Presente do Projeto com o emprego das técnicas tradicionais, sem flexibilidade, e de acordo com a projeção do Fluxo de Caixa Descontado (FCD) ao longo da vida do projeto. Já a segunda etapa é referente ao começo da modelagem da incerteza por meio da árvore de eventos. É essencial que haja identificação de fatores de incerteza que impactam a volatilidade do projeto.

O cálculo da volatilidade do projeto será obtido através da variável  $z$ , a variável estocástica do projeto. Aos valores encontrados, o Método de Monte Carlo será utilizado para combinar várias incertezas do projeto em uma única e, dessa forma, obter a estimativa da volatilidade do retorno do ativo subjacente sujeito ao risco (CARVALHO, 2015).

Após o cálculo da volatilidade do projeto, a árvore de eventos será montada e para isso, são necessários os seguintes parâmetros: o valor do ativo subjacente sujeito ao risco; o desvio padrão dos retornos dos projetos (resultado do Método Monte Carlo); a vida da opção em anos; e a taxa anual livre de risco (CARVALHO, 2015). Tendo os valores desses parâmetros, calculam-se os movimentos ascendentes ( $u$ ) e descendentes ( $d$ ) que o ASSR assumirá durante o tempo do projeto.

O terceiro passo consiste na análise da árvore de eventos para identificar e incorporar a flexibilidade gerencial a fim de reagir a novas informações. A regra geral para exercer a opção é descrita na Equação 13. O valor de VOR é aplicado para o movimento ascendente e descendente.

(13)

$$V_{OR} = \text{Max}_{(em t=T)} [0, V_T - X]$$

Onde:

$V_{OR}$  = valor da opção real;

$V_T$  = valor presente da árvore de eventos;

$X$  = preço de exercício da opção.

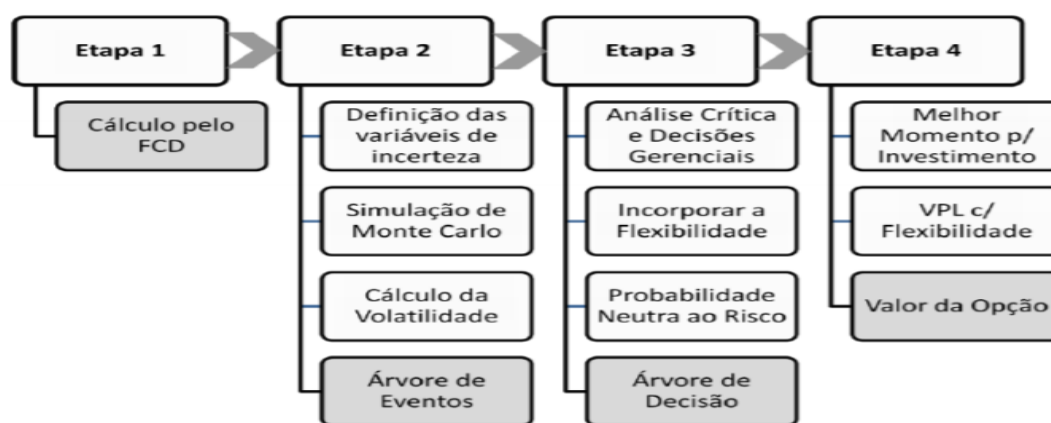
O quarto passo consiste em calcular e analisar as Opções Reais. Ao obter o valor final do projeto, é responsabilidade do gestor analisar cada caminho obtido através da árvore de decisão e definir se a opção será ou não exercida. Em cada nó de decisão será informado para o gestor o valor entre o ativo subjacente sujeito a risco (ASSR) e o valor da decisão.

Após a conclusão dessas quatro etapas, finalmente as partes interessadas terão o valor do VPL expandido: a soma do VPL tradicional e o Valor Presente da opção. A Figura 5 acima mostra de maneira resumida as quatro etapas citadas e a Equação 14 é referente ao VPL expandido.

(14)

$$\text{VPL}_{\text{Expandido}} = \text{VPL}_{\text{Tradicional}} + \text{VP}_{\text{Opções Reais}}$$

**Figura 5: Etapas do Processo de Avaliação de Investimento aplicando Opções Reais**



Fonte: BRANDÃO (2010, p. 51)

### 3. CONTEXTO SOBRE O SETOR HIDROVIÁRIO NACIONAL

#### 3.2. Logística de Transportes

Estudos realizados pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ informam que no Brasil existem quase 21.000 km de vias navegáveis economicamente utilizadas (ANTAQ, 2012). De acordo com a Lei 12.379/11 (BRASIL, 2011b), que institui o Sistema Nacional de Viação (SNV), temos hoje uma malha planejada de 42.000 km de vias navegáveis, onde por hora se navega, do ponto de vista econômico, em menos da metade das vias já identificadas com esse potencial.

O Plano Nacional de Logística de Transporte (PNLT), publicado em 2007, apontou que o modo aquaviário no Brasil (cabotagem e hidroviário) corresponde a 13 % da movimentação de mercadorias, enquanto o transporte ferroviário e rodoviário de cargas corresponde respectivamente a 25 % e 58 % do volume transportado. O documento faz a previsão de que até o ano de 2025, o

equilíbrio entre os modais de transporte – rodoviário (33%), ferroviário (32%) e hidroviário (29%) - seria alcançado.

O Ministério dos Transportes publicou em 2010 o documento intitulado Diretrizes da Política Nacional de Transporte Hidroviário. Nesse documento, são estabelecidas diretrizes para a implantação da navegação interior no Brasil até o horizonte de 2026. Os valores orçamentários apresentados no documento são da ordem de R\$ 26 bilhões para o período compreendido de 2011 – 2026, o equivalente a R\$ 1,7 bilhões/ano (MT, 2010).

Nesse arquivo são destacadas as 14 diretrizes para o fomento da navegação interior: fortalecer a gestão pública no setor hidroviário; melhorar o nível de serviço do transporte de passageiros; implantar as eclusas prioritárias; regulamentar o licenciamento ambiental de intervenções em hidrovias; implantar o Programa Nacional de Manutenção Hidroviária (PNHM); ampliar o conhecimento das condições de navegabilidades; priorizar os trechos de interesse; apoiar a Marinha do Brasil no programa de formação de fluviais; implantar terminais de transbordo e acesso rodoferroviários nas hidrovias; garantir acesso hidroviário aos portos do Norte do Brasil; propor medidas institucionais de fomento à navegação interior; criar conselhos de usuários do transporte hidroviário nas bacias hidrográficas; ampliar a articulação com os órgãos de controle; estabelecer articulação para a promoção da navegação interior.

No ano de 2012, o Ministério dos Transportes encomendou a atualização do PNLT. A previsão de equilíbrio da matriz de transporte nacional foi revista e a estimativa é de que em 2031, excluindo o carregamento de minério de ferro (transportado, em geral, por ferrovias), os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário passariam a responder por 55 %, 21 % e 17%, respectivamente (MT, 2012).

Em 2015, foi aprovada a Lei 13.081 que torna obrigatória a construção total ou parcial de dispositivos de transposição de desníveis (eclusas), em rios navegáveis ou potencialmente navegáveis.

Em 2017, os investimentos públicos em hidrovias e terminais fluviais foram da ordem de 121,9 milhões (SNTTA e DNIT, 2017). Atualmente, as rodovias brasileiras representam 61% da matriz do transporte de carga nacional, enquanto ferrovias detêm 21% e hidrovias 14%.



### **3.3. Projetos de Investimento em Infraestrutura Logística**

A fim de investir na integração das diferentes regiões do Brasil e eliminar gargalos logísticos e de investimento na ampliação e construção da malha de transporte, os últimos governos elaboraram programas de promoção à melhoria da infraestrutura logística.

Nos últimos 10 anos, das 60 obras de infraestrutura hidroviária interior apresentadas nos Programas de Aceleração do Crescimento (PAC) 1 e 2, foram concluídas 16. Em valores financeiros, de um total de 4,2 bilhões de reais, aproximadamente 1,5 bilhão de reais foram efetivamente pagos. Sobre esse valor investido, deve ser observado que somente as obras de conclusão das Eclusas de Tucuruí, uma única obra, respondem por 65% do montante investido no setor, nos últimos 10 anos (VETTER e CARVALHO, 2014).

Em 2012, o Governo Federal lançou o Programa de Investimentos Logísticos (PIL), com orçamento aproximado de 133 bilhões, para estimular o desenvolvimento das infraestruturas de transporte em parceria com a iniciativa privada. Segundo o anexo da Empresa de Planejamento e Logística (EPL), criada em 2012 e vinculada ao Ministério dos Transportes, esse programa, em conjunto com o PAC 2, tem o objetivo de reduzir dos custos de transportes no chamado Custo Brasil. Essa dominação é dada para uma série de custos de produção ou despesa incidentes sob a produção brasileira e que interfere de forma negativa na atividade de exportação de produtos.

Em 2015, o Governo Federal lançou o Programa de Investimentos Logísticos (PIL) 2, com orçamento de aproximadamente 200 bilhões, a fim de dar continuidade ao processo de modernização da infraestrutura de transportes brasileira e ao mesmo tempo atuar na estratégia de crescimento da economia. Importante destacar que diferente dos outros modais –rodovias, ferrovias, portos e aeroportos - o Governo Federal tanto no PIL 1 quanto no 2 não apresentou qualquer informação sobre a criação do PIL – Hidrovias.

O “Programa Agora, é avançar”, lançado em 2017, surgiu com objetivo de contemplar obras de importância estratégica que estavam paradas ou com baixo ritmo de execução. O setor de infraestrutura em transporte contará com 124 obras e orçamento de mais de 15 bilhões de reais. Nesse programa, o setor de hidrovias contará com 14 obras, o que representa 11% do total de obras planejadas. Os projetos envolverão a construção de terminais hidroviários e também a dragagem, derrocamento e sinalização de vias fluviais.

A navegação interior, apesar do seu elevado potencial de utilização no território nacional, apresenta uma reduzida expressão em relação à matriz total de transporte. Diversos entraves institucionais, regulatórios, de infraestrutura e de gestão contribuem para esse cenário de baixo investimento público e na inexistência de investimento privado. Principalmente na questão gerencial, as deficiências no desenvolvimento de projetos, na decisão do momento de investimento de recursos em infraestrutura e na capacidade de execução em conformidade com os planejamentos e os seus cronogramas são aspectos decisivos para o sucesso de um projeto de investimento.

Exatamente por esses motivos, avaliar a possibilidade de incorporar, nos estudos de viabilidade econômica de empreendimentos governamentais, métodos mais modernos que possam auxiliar e oferecer flexibilidade gerencial para a tomada de decisão dos gestores públicos é necessário.

O método escolhido para esse projeto será o Teorema das Opções Reais (TOR). “O modelo de avaliação pretende justamente incorporar as dinâmicas de mudanças nos projetos de investimentos e que podem trazer novas alternativas para o tomador de decisão” (CARVALHO, 2015). O caso a ser analisado nesse trabalho é o Derrocamento do Pedral do Loucenço, na Hidrovia do Tocantins.

#### **4. INFORMAÇÕES SOBRE O PROJETO DE INVESTIMENTO NA HIDROVIA TOCANTINS – PEDRAL DO LOURENÇO E METODOLOGIA A SER APLICADA**

Neste capítulo serão apresentadas informações sobre o projeto de investimento no setor hidroviário nacional a ser analisado e o modelo base para a aplicação das Opções Reais. Como já comentado anteriormente, a metodologia utilizada será similar à utilizada Ronchi, Moura e Rocha (2013) e Carvalho (2015), para a obtenção da receita final de frete e custo social.

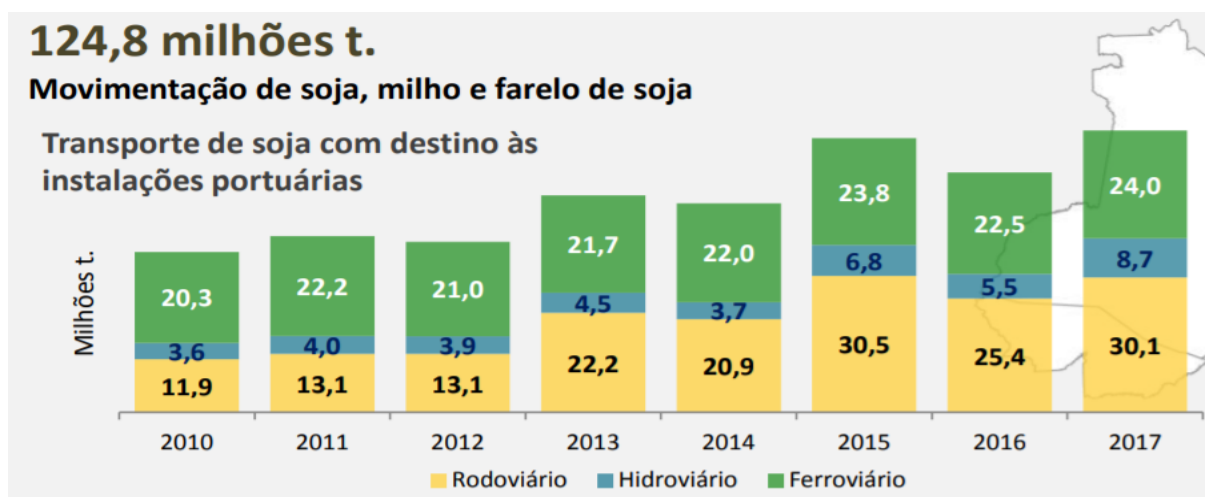
##### **4.2. Contexto da região do Pedral do Lourenço**

De acordo com o estudo realizado pelo Centro de Estudos e Debates Estratégicos da Câmara dos Deputados (CEDE), o Arco Norte é delimitado como o sistema de transportes, em seus vários modos, responsável pelo escoamento de cargas e insumos com a utilização dos portos ao norte do Brasil, desde Porto Velho, em Rondônia, passando pelos Estados do Amazonas, Amapá e Pará, até o sistema portuário de São Luís, no Maranhão. E possui como maior compromisso: o escoamento de grãos e minérios do país.

Entre 2000 e 2014, a produção de grãos, no Brasil cresceu 101,6%, enquanto a área plantada teve expansão de 52,6%. Esse desempenho tem assegurado destaque no mercado internacional de grãos. No caso da soja, o Brasil tem hoje a maior produtividade entre os países produtores, produzindo cerca de um terço da produção mundial (CNT, 2015). Sem dúvidas, o agronegócio tem papel inquestionável no crescimento do País, uma vez que representa parcela significativa do PIB brasileiro.

No entanto, se o cultivo de grãos é apontado como atividade de excelência e gera lucro bruto alto, parte desse lucro é comprometido com a carência de infraestrutura para o escoamento da produção. O ato de distribuição representa aproximadamente 30% do valor adicionado pela cadeia produtiva do agronegócio, fato que só comprova a relevância do setor de transporte para a competitividade e rentabilidade do setor (CNA, 2016). Sobre a logística de transporte, a Figura 6 mostra o modo rodoviário, que em geral é a opção que apresenta maior custo, sendo a primeira opção de uso.

Figura 6: Transporte de grãos com destino às instalações portuárias

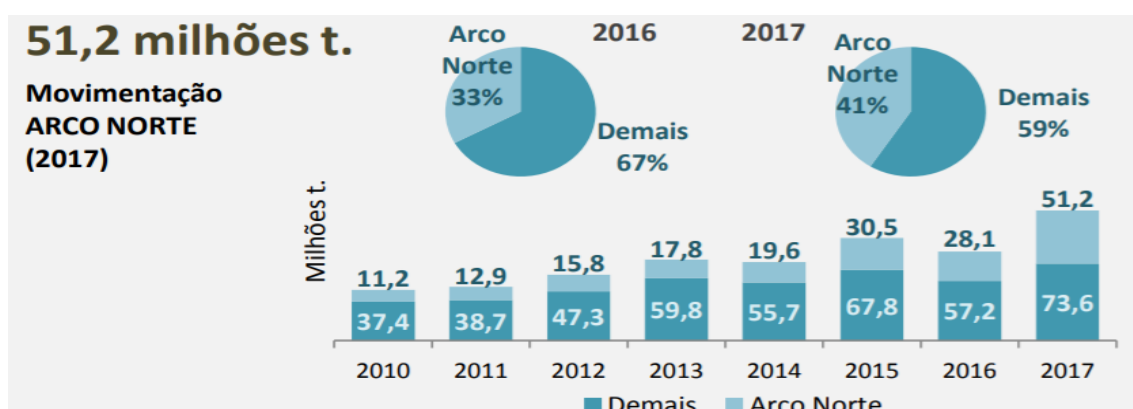


Fonte: ANTAQ (2017), ANTT (2017), MTPA (2017) e CONAB (2017).

A região Centro-Oeste lidera a produção agrícola brasileira e seu escoamento tem como destino principal o Porto de Santos. Caso fosse possível direcionar todo o escoamento para um porto na região do Arco Norte, a quantidade transportada será triplicada no mesmo período de tempo (CEDE, 2016).

Durante os últimos anos, houve injeção de novos recursos e a participação do Arco Norte aumentou, tanto que nos anos 2010, segundo dados do Ministério da Agricultura, essa região escoava 8% do total de soja e milho destinado ao mercado internacional, e em 2015 já alcançava 20% dos embarques totais do País (MT, 2015). A figura 7 traz atualizações sobre a participação do Arco Norte no escoamento agrícola.

Figura 7: Movimentação de carga agrícola no Arco Norte se compara às demais regiões

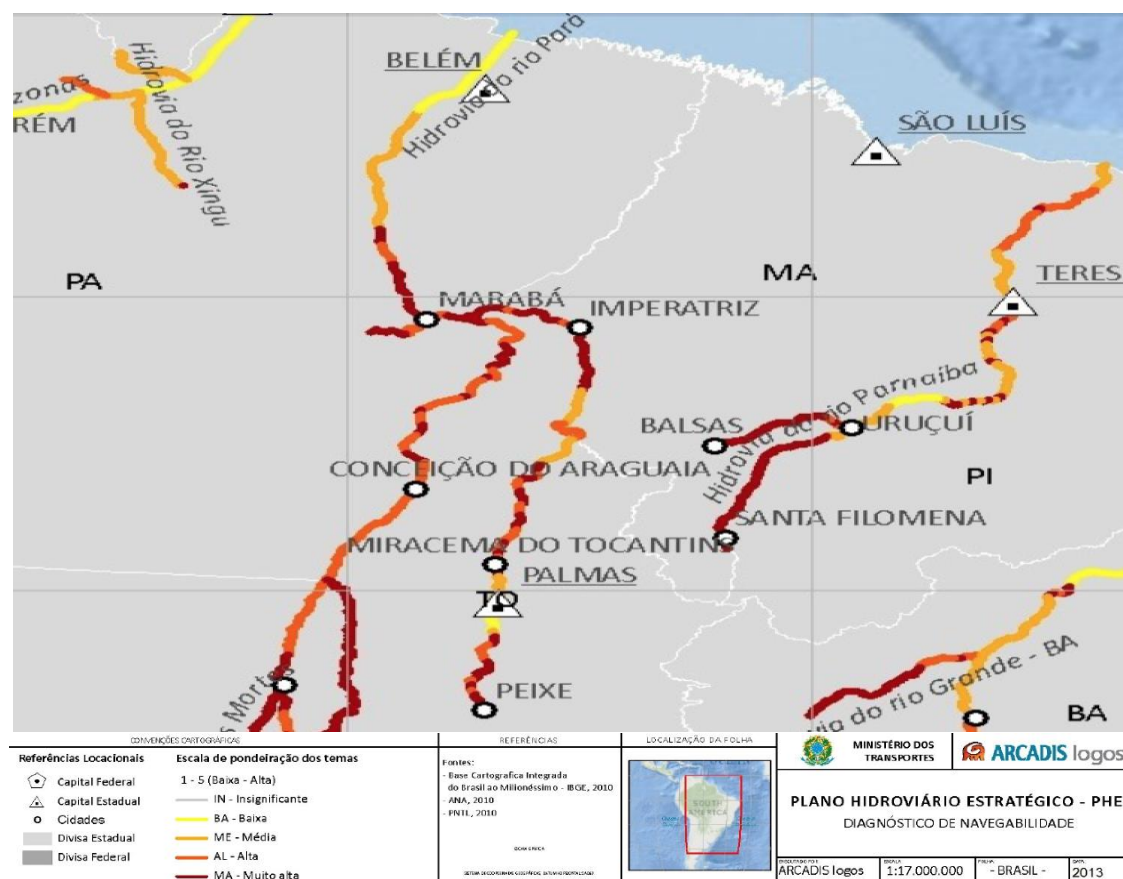


Fonte: ANTAQ (2017), ANTT (2017), MTPA (2017) e CONAB (2017).

No Arco Norte existem quatro sistemas hidroviários: do Madeiro, do Solimões-Amazonas, do Tapajós e do Tocantins. A Hidrovia do Tocantins se inicia na sua foz, próxima à cidade de Belém (Porto de Vila do Conde-PA) e vai até a Usina Hidroelétrica (UHE) de Peixes, percorrendo um total de mais de 2.000 km (MT e MD, 2007).

O potencial indicado para essa via é de uma extensão definida em 2.000km, mas em 2013 o Ministério dos Transportes reduziu a extensão comercialmente utilizável do rio Tocantins para o trecho compreendido da foz em Vila do Conde-PA até a cidade de Miracema do Tocantins -TO, próxima a UHE de Lajeado, em um total de 1.230km e essa redução é considerada devido as restrições de navegabilidade em alguns trechos (CARVALHO, 2015). Essa redução foi considerada em virtude das restrições de navegabilidade no trecho a montante da cidade de Miracema do Norte- TO até o limite de navegação do rio Tocantins: a UHE de Peixe (MT, 2013). Figura 8.

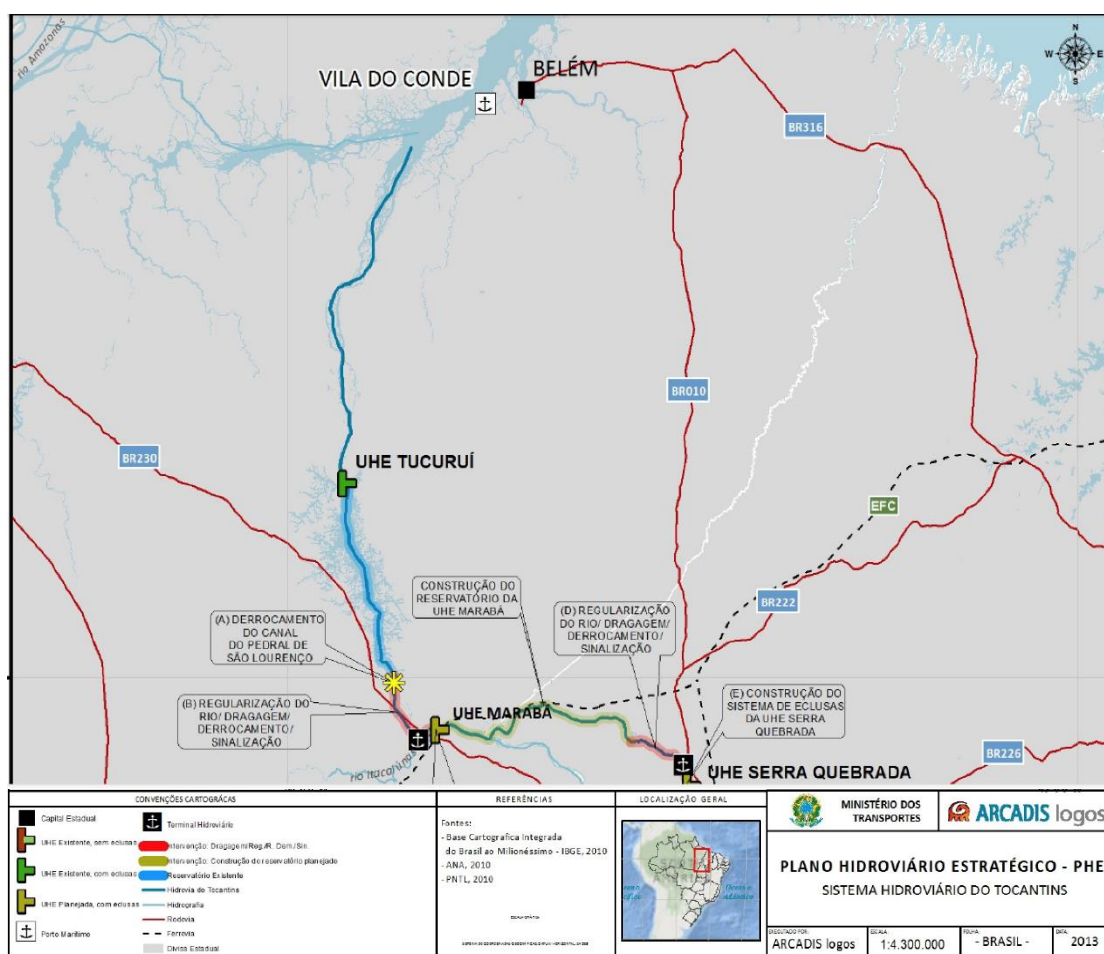
**Figura 8: Diagnóstico de Navegabilidade no rio Tocantins, trecho Vila do Conde – PA a Peixe - TO**



Fonte: MT (2013)

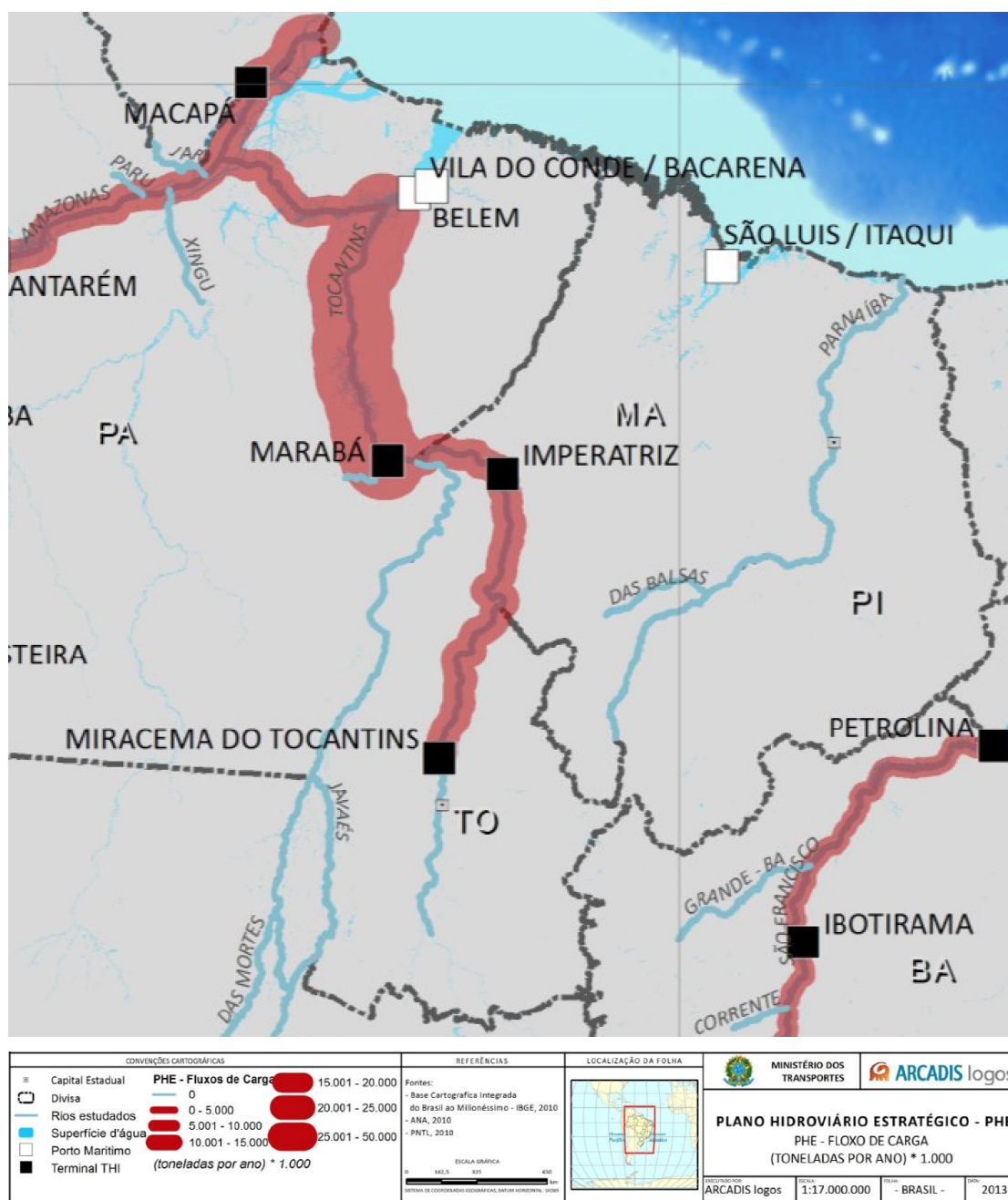
O Governo busca a estruturação de uma infraestrutura que de fundamental importância para o escoamento de cargas, para o horizonte até 2031, de 41,1 milhões de toneladas, sendo que o trecho da Hidrovia entre a cidade de Marabá-PA e o Porto de Vila do Conde será responsável por 32,5 milhões de toneladas. Os outros 8,6 milhões de toneladas corresponderão à produção agrícola de MITOPIBA, que corresponde aos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, principalmente de soja, farelo de soja e milho (CARVALHO, 2015). Figuras 9 e 10.

**Figura 9: Eixo de Empreendimentos no rio Tocantins, trecho Vila do Conde-PA - Marabá-PA até jusante UHE-Serra da Quebrada**



Fonte: MT (2013)

**Figura 10: Fluxo de carga previsto para a região do MATOPIBA e Pará para a Hidrovia do Tocantins**



Fonte: MT (2013)

O derrocamento do Pedral do Lourenço é imprescindível para a região, uma vez que ele é a principal barreira para alcance de aproximadamente 80% do escoamento previsto. O projeto

consiste em desgastar as formações rochosas que impedem a navegação de embarcações com cargas durante os meses de setembro a novembro, período em que o rio fica mais raso. A conclusão da obra possibilitará que o rio Tocantins tenha navegabilidade durante todo o ano e com isso, as eclusas de Tucuruí, consideradas elefantes brancos por sua subutilização, poderão cumprir a sua função de permitir que embarcações atravessem a barragem da usina de Tucuruí e acessem o rio Tocantins.

#### **4.3. Cálculo do VPL sem flexibilidade**

Todo projeto de investimento necessita do cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) sem flexibilidade para o início da análise de viabilidade econômica e para esse cálculo será utilizado o Fluxo de Caixa Descontado.

O caso de estudo é um projeto de investimento do Governo Federal no setor hidroviário e a taxa de desconto considerada no cálculo do VPL será a de 6,98% a.a. Valor referente à Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP), taxa nominal definida como o custo básico dos financiamentos concedidos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social (BNDES, 2018).

#### **4.4. Definição de receitas para o investimento**

O governo ao investir em uma infraestrutura de transporte hidroviário não espera retorno financeiro direto de seus usuários. O retorno, na verdade, é o ganho calculado sobre a economia de elemento financeiro, o frete, e custos sociais que serão obtidos pelos operadores fluviais (CARVALHO, 2015). O retorno financeiro do investimento será calculado a partir das economias obtidas do frete e custos sociais.

A hidrovia como modo de transporte é considerada um transporte sustentável. A definição de transporte sustentável atualmente adotada abrange indicadores ambientais (poluição atmosférica e sonora, consumo de água e espaço) e sociais (número de acidentes).

O modo hidroviário é o que menos consome combustível para se deslocar e por isso, é responsável pela menor quantidade de emissão de gases do efeito estufa, e se comparado com o modo rodoviário, emite até seis vezes menos. Apresenta também menores índices de contaminação por sítio ocupado.



Sobre o potencial de ocorrência de acidentes, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em conjunto com o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) apresentou em 2006 um estudo que avaliou os impactos econômicos dos acidentes de trânsito. No caso do transporte hidroviário, o estudo realizado na hidrovía Paraná-Tietê apontou que nos últimos cinco anos de sua operação, aconteceram dois acidentes ao longo de todo o trecho de navegação. Em nenhum dos casos com vítimas fatais (DH, 2012).

No modo rodoviário em 2011 foram mais de 93.000 acidentes em rodovias federais com veículos de carga, que ocasionaram mais de 2.000 mortos (DNIT e DPRF, 2011). No Anuário Estatístico de Transportes para o período de 2010 a 2017, divulgado pelo Ministério dos Transportes, Portos e Aviação (MTPA) em 2017, foram divulgados: 694 acidentes ferroviários e que ocasionaram 275 mortes e 89.400 acidentes rodoviários, com 55.536 acidentes. Não houveram registro de acidentes hidroviários.

Detalhes sobre o custo médio de implantação, de operação, custos sociais, consumo de combustível e de emissão de poluentes podem ser conferidos na Figura 11.

**Figura 11: Comparativo entre modais de transporte**

Fatores/Modal		Rodoviário	Ferroviário	Hidroviário
Custo médio de implantação (US\$/km)		440.000	1.400.000	34.000
Custo médio de operação (US\$/t/km)		34	21	12
Custos sociais (*) (US\$/100 t/km)		3,2	0,74	0,23
Consumo de combustível (l/t/1.000 km)		96	10	5
Emissão de poluentes (kg/t/1.000 km)	Hidróxido de carbono	0,178	0,129	0,025
	Monóxido de carbono	0,536	0,180	0,056
	Oxido de nitrogênio	2,866	0,516	0,149
	Dióxido de carbono	0,164	0,0481	0,0334
Vida útil da infraestrutura		Baixa	Alta	Alta
Custo de manutenção das vias		Alto	Baixo	Baixo

Fonte: Ministério dos Transportes e ANTAQ (2015)

(\*) inclui acidentes, poluição atmosférica e sonora, consumo de água e espaço.

Considerando frete e custos sociais como possíveis fontes de receitas a serem apropriadas pelo governo para o cálculo do retorno do investimento e utilizando metodologia de Ronchi, Moura e Rocha (2013) e Carvalho (2015) para alcance das receitas, é proposta a Equação 15.

(15)

$$\text{Receita} = R_{\text{frete}} + R_{\text{CustoSocial}}$$

Onde:

$R_{\text{frete}}$  = valor da redução da diferença do frete entre o modo de transporte rodoviário, ou rodoviário e ferroviário, e o modo hidroviário (em R\$);

$C_{\text{CustoSocial}}$  = valor da redução dos custos sociais, entre o modo de transporte rodoviário, ou rodoviário e ferroviário, e o modo hidroviário (em R\$);

O cálculo da receita referente ao frete,  $R_{\text{frete}}$ , é obtido pela Equação 16:

(16)

$$R_{\text{frete}} = [\text{Min}(F_{\text{rod}}; F_{\text{rod-fer}}) - F_{\text{rod-hid}}] \times Q$$

Onde:

$F_{\text{rod}}$  = valor do frete rodoviário;

$F_{\text{rod-fer}}$  = valor do frete rodo-ferroviário;

$F_{\text{rod-hid}}$  = valor do frete rodo-hidroviário;

$Q$  = quantidade de carga transportada na hidrovia (em t).

Os valores considerados para o cálculo do frete foram retirados do estudo base realizado pela Administração das Hidrovias do Tocantins e Araguaia (AHITAR) e publicados no estudo de viabilidade do governo em 2013, ano de licitação do projeto de derrocamento do Pedral do Lourenço e por isso, ano considerado para análise de demanda agrícola e frete dos modais. Os fretes para a Hidrovia Tocantins-Araguaia considerados foram os valores de R\$ 0,084/tkm, R\$ 0,064/tkm, R\$ 0,025/tkm para os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário respectivamente.

Para o cálculo do termo  $C_{\text{CustoSocial}}$  é proposta a seguinte Equação 17:

(17)

$$R_{\text{CustoSocial}} = [\text{Min}(CS_{\text{rod}}; CS_{\text{fer}}) - CS_{\text{hid}}] \times Q$$

Sendo  $CS_{\text{rod}}$ ,  $CS_{\text{fer}}$  e  $CS_{\text{hid}}$  calculados pelas Equações 18, 19 e 20 respectivamente,

$$CS_{\text{rod}} = D_1 \times \alpha_{\text{rod}} \quad (18)$$

$$CS_{\text{fer}} = D_2 \times \alpha_{\text{fer}} \quad (19)$$

$$CS_{\text{hid}} = D_3 \times \alpha_{\text{hid}} \quad (20)$$

Onde:

$D_1$ ,  $D_2$  e  $D_3$ : distância percorrida pelo modo rodoviário, ferroviário e hidroviário respectivamente para transportar a carga (em km),

$Q$ : quantidade de carga a ser transportada (em t),

$\alpha_{\text{rod}}$ ,  $\alpha_{\text{fer}}$  e  $\alpha_{\text{hid}}$  = valor da emissão do poluente (em R\$/1000tkm).

Os valores de  $D$  serão de acordo com a distância até o ponto de embarque no porto marítimo considerado para o escoamento da produção. No caso do transporte rodoviário será considerado como a distância da origem da carga percorrida pelo modo. Para os modais ferroviário e hidroviário, deverão ser consideradas a distância de movimentação da carga pelo modo rodoviário e o custo social produzido por essa opção, mais a distância de movimentação de carga pelo modo ferroviário ou hidroviário e seus respectivos custos sociais gerados. O cálculo será similar ao realizado para obtenção de  $R_{\text{frete}}$ .

Os valores de  $\alpha$  para cada modo de transporte foram considerados de acordo como o estudo realizado pelo MT e ANTAQ com valores referentes ao ano de 2015 onde foram contabilizados os custos de poluição atmosférica e sonora, consumo de água e espaço e número de acidentes. As avaliações dos custos são da ordem de: US\$ 32 /1000tkm; US\$ 7,4/1000tkm; e US\$ 2,3/1000tkm. O ano de 2013 será considerado o ano base e, por isso, a taxa de conversão do Dólar utilizada será de US\$ 1,0 igual a R\$ 2,16 (cotação média do dólar no ano de 2013). Os valores serão em reais:

69,03/1000tkm; 15,96/1000tkm; e 4,96/1000tkm para os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário respectivamente.

#### **4.5. Processo de escolha do tipo de opção para o setor público – opções de adiamento e expansão.**

No segundo capítulo, foi comentado que as opções reais podem ser de adiar/diferir, alterar a escala, abandonar, de conversão, composta, crescimento com múltiplas interações (TRIGEORGIS, 1996). No caso da utilização da Teoria das Opções Reais por órgãos públicos, a fim de alcançar o melhor planejamento e gasto do dinheiro público, caberá ao gestor a análise e decisão das melhores possibilidades de aplicação das opções reais, dentre as existentes. O Quadro 1 apresenta as opções aplicáveis a investimentos com verba pública.

**Quadro 1: Tipos de Opções Reais – investimentos de caráter governamental**

<b>Tipo de Opção</b>	<b>Público</b>
Diferir/Adiar	<b>Sim</b>
Alterar a escala / Expansão	<b>Sim</b>
Abandono do investimento	<b>Não</b>
Conversão	<b>Não</b>
Composta	<b>Não</b>
Crescimento com múltiplas interações	<b>Não</b>

Fonte: Carvalho, 2015

A opção de abandono não deve ser cogitada no cenário de gerenciamento público, devido ao alto valor de dinheiro público investido. Ainda assim, segundo o estudo de Impacto Econômico e Social das Obras Públicas no Brasil, realizado pela consultoria InterB, a pedido da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (Cbic), o Brasil apresenta 7 mil obras paradas ou em estado de abandono.

A opção de conversão também não deve ser uma alternativa de escolha pois cada obra de infraestrutura possui sua própria peculiaridade. Uma obra de infraestrutura hidroviária não pode ser transformada em uma ferroviária, por exemplo (CARVALHO, 2015). No caso das opções do tipo composta e de crescimento com múltiplas interações, se aplicam a projetos com múltiplas

cadeias de projetos e interações, que não fazem parte do portfólio de investimentos no setor de transportes governamental no Brasil (CARVALHO, 2015).

No projeto de derrocamento do Pedral de Lourenço, dois tipos de Opções Reais serão analisados: de adiar e de alterar a escala (expansão). A primeira, devido a inconstância ou falta de continuidade de investimento na infraestrutura governamental hidroviária, às vezes o setor é foco de investimento e outras não, torna-se uma alternativa bastante adequada ao cenário brasileiro.

A segunda também deverá ser considerada. Como já comentado, o Arco Norte é promessa de maior eficiência no escoamento de produtos e caso haja aumento da demanda agrícola e investimentos adequados nessa região, essa opção torna-se real e atrativa. Outro ponto a ser considerado é que essa opção pode auxiliar o governo em uma resposta mais rápida na expansão da infraestrutura, reduzindo o tempo que será despendido pela administração na realização de uma nova licitação para atendimento de uma demanda não claramente definida no primeiro edital (CARVALHO, 2015).

#### **4.6. Definição do modelo a ser utilizado para o cálculo da Opção Real**

Conforme já apresentado no capítulo 2 da tese, os dois principais modelos para o cálculo da Opção Real de um investimento são os Modelos de Black & Scholes e o Binomial.

A preferência de um modelo em relação a outro pode ser considerada pelo tipo de opção a ser calculada. Enquanto no Modelo Binomial a opção pode ser exercida a qualquer momento até a data do vencimento (opção americana), no modelo de precificação das opções reais de Black & Scholes ela deve ser exercida no vencimento da opção (opção europeia). Em ambos os casos, a medida que se aumenta o número de períodos a serem calculados, os valores estimados da opção convergem (EHRHARDT e BRIGHAM, 2015). Isto acontece porque aumentando-se o tamanho da amostra, a distribuição de probabilidade binomial (Binomial) se aproxima da normal (Black & Scholes), passando a mesma variável do tipo discreto a ter o mesmo tratamento que uma variável do tipo contínuo.

Na ótica do Governo, quando há interesse de investimento, deve-se avaliar o ponto em que o investimento pode ser iniciado de forma eficaz. Uma vez que projetos de infraestrutura são projetos que necessitam de grandes quantias de investimento e possuem retorno a longo prazo, o gestor necessita analisar os cenários de produção de determinada região e avaliar o melhor

momento para a realização do investimento público (CARVALHO, 2015). Assim, a aplicação do modelo Black e Scholes se torna mais interessante para o gestor.

## **5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NA ANÁLISE DO PROJETO DE INVESTIMENTO NA HIDROVIA TOCANTINS – PEDRAL DO LOURENÇO**

O projeto de engenharia contratado pelo Governo consiste no serviço de retirada de pedras – derrocamento, no caso específico utilizando-se de explosivos, além da sinalização da nova área navegável e elaboração das cartas eletrônicas de navegação em um trecho de 42 km. A conclusão da obra possibilitará a navegação pelo rio Tocantins em uma extensão de 567 km.

Para a análise desse projeto, o transporte de cargas agrícola e mineral será utilizado para a estimativa de demanda dos valores de cargas de acordo com os levantamentos preliminares dos estudos de viabilidade realizados pelos órgãos responsáveis. Esses dados em sua grande maioria utilizaram como fonte relatórios disponibilizados pelo MT como por exemplo, o PNLT, e também as informações de produção dos municípios divulgados pelo IBGE e Ministério da Agricultura.

O projeto determinou o trecho Marabá – Vila Conde como via de escoamento das safras e minério, os gestores definiram também a utilização de comboio do tipo B como opção de transporte de cargas em função das dimensões da eclusa de Tucuruí. As dimensões do comboio e sua capacidade de transporte de carga são mostrados na Tabela 2, a seguir. A capacidade operacional considerada será de 31.680.000 toneladas (16 eclusagens/dia (capacidade do canal) x 330 dias de operação x 6.000 (capacidade do comboio tipo B)).

**Tabela 2: Dimensões do comboio tipo B e sua capacidade de transporte de carga**

<b>Dimensões do comboio e capacidade de transporte de carga</b>	
Comprimento total	150 m
Boca	32 m
Calado	2,10 m
Capacidade de transporte	6 mil ton

E por último, nos estudos das alternativas propostas os valores de licitação variaram de R\$ 695 milhões até R\$ 28 bilhões. Essa diferença é devida à complexidade dos projetos: algumas opções optam por movimentação do comboio com dimensões menores que a capacidade das

Eclusas de Tucuruí, de 16.000 toneladas, em outras há utilização de tecnologias mais avançadas de engenharia e com execução de pontos de cruzamento/ultrapassagem. O valor escolhido para análise é o de menor valor da licitação, no valor de R\$ 695.007.484,00.

## **5.2. Custo e despesa**

A análise desse projeto tem como foco o estudo do valor do projeto de implantação da hidrovia, e por isso, custos operacionais de manutenção como por exemplo, dragagens rotineiras, não serão considerados. Além do custo de investimento de R\$695.007.484,00, a única despesa anualmente contabilizada é no valor de R\$ 1.200.000,00 que corresponderá a manutenção da sinalização instalada e atualização de cartas náuticas de navegação.

## **5.3. Valores de fontes de receita**

O projeto será financiado totalmente pelo Governo, desde que a hidrovia seja uma alternativa viável para o escoamento das safras agrícolas – mineral da região. Isto é, o valor do custo do frete e do social necessita ser inferior ao custo das outras modalidades de transporte: apenas rodoviária ou rodoferroviária-ferroviária. Esse resultado aliado à demanda de materiais possibilita a análise do investimento em questão.

### **5.3.1. Demanda Estimada**

A fim de que o valor de retorno do investimento seja conhecido, além do custo, a receita do projeto também precisa ser contabilizada, e por isso, é necessário definir a demanda de cargas agrícolas e mineral que utilizará a hidrovia de Tocantins como principal forma de escoamento de produção. Para essa análise, os estados da federação considerados foram o Maranhão, o Tocantins e o Pará. O horizonte do projeto considera 21 anos, período que representa os anos de 2013 a 2034.

A escolha desses três estados é fruto das análises realizadas pelo próprio Governo, onde foram consideradas as vantagens oferecidas pelo modo hidroviário e as principais áreas com potencial de uso da hidrovia do Tocantins - Araguaia após conclusão das obras de derrocagem. As demandas consideradas para o cálculo do FCD, nesse estudo, são a soja e minério de ferro.

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o período de 2012-13/2022-23, os valores de crescimento médio serão na ordem de 2,00% a.a. em média e

limite superior de 4,22% a.a. para a soja em grãos. Uma vez que a previsão de demanda considerada do minério de ferro foi a otimista, a taxa de crescimento médio considerada para a criação do cenário de soja analisado foi da ordem de 4,22% a.a., a taxa de limite superior.

A partir do estudo, obteve-se acesso a previsão de movimentação de minério de ferro no cenário otimista. O minério foi incluído na análise de viabilidade econômica do projeto porque a cidade de Marabá, polo de exportação e importação do produto, será a maior concentradora de cargas que utilizará a hidrovía Tocantins quando o derrocamento for concluído. Na tabela 3, a seguir, estão os valores consolidados totais de soja e minério de ferro transportados e na Tabela 4, apenas os valores de movimentação da soja por cada estado.

**Tabela 3: Valores consolidados da movimentação de soja e minério de ferro para exportação por meio da hidrovía. No ano 14, a capacidade operacional máxima será alcançada**

	<b>MINÉRIO DE FERRO ( em mil t)</b>	<b>SOJA (em mil t)</b>	<b>TOTAL (em mil t)</b>
Ano	PA	MA, TO e PA	
1	3.050	1.427	4.477
2	6.424	1.488	7.912
3	13.540	1.550	15.090
4	14.770	1.616	16.386
5	16.112	1.684	17.796
6	17.576	1.755	19.331
7	19.173	1.829	21.002
8	20.915	1.906	22.821
9	22.816	1.987	24.803
10	24.889	2.071	26.960
11	27.150	2.158	29.308
12	28.962	2.249	31.211
13	30.894	2.344	33.238
14	32.955	2.443	35.398
15	35.154	2.546	37.700
16	37.500	2.654	40.154
17	39.820	2.766	42.586
18	42.285	2.882	45.167
19	44.901	3.004	47.905
20	47.680	3.131	50.811
21	50.630	3.263	53.893

Fonte: DNIT (2013), MAPA (2013), adaptado



**Tabela 4: Valores da movimentação de soja em cada Estado**

SOJA (em mil t)					
	Maranhão	Pará	Tocantins		
Ano	Região S	Região SE	Gurupi (65%)	Miracema do Tocantins (35%)	Total
1	1.017	29	248	134	1.427
2	1.059	31	258	139	1.488
3	1.104	32	269	145	1.550
4	1.151	33	281	151	1.616
5	1.199	35	293	158	1.684
6	1.250	36	305	164	1.755
7	1.303	38	318	171	1.829
8	1.358	39	331	178	1.906
9	1.415	41	345	186	1.987
10	1.475	43	360	194	2.071
11	1.537	44	375	202	2.158
12	1.602	46	391	210	2.249
13	1.669	48	407	219	2.344
14	1.740	50	424	229	2.443
15	1.813	52	442	238	2.546
16	1.890	55	461	248	2.654
17	1.969	57	480	259	2.766
18	2.053	59	501	270	2.882
19	2.139	62	522	281	3.004
20	2.229	65	544	293	3.131
21	2.324	67	567	305	3.263

Fonte: DNIT (2013), MAPA (2013), adaptado

Nota-se que apenas no cenário otimista, devido ao grande crescimento da expectativa de movimentação de minério de ferro, no ano 14, atingirá 32.955.000 toneladas, a capacidade operacional considerada em 31.680.000 toneladas será alcançada.

O relatório apresentado pela ANTAQ sobre o desempenho do setor aquaviário, no ano de 2017, aponta que foram movimentadas aproximadamente 395,4 milhões de toneladas de minério de ferro. Dessa quantidade, os portos privados movimentaram 349, 4 milhões e os portos públicos 46 milhões.

A distância considerada para a movimentação das cargas é da cidade de Marabá ao porto Vila do Conde – PA. No mesmo estudo, é exposto que esse porto é público e representou participação de 3,22 milhões (7%) na atividade de exportação mineral. A realidade é que o projeto de derrocamento, até o ano de 2018, não começou. Então, considerando a previsão fornecida pelo

DNIT, mostrada nas tabelas anteriores, o valor ainda faz sentido. Uma vez que a previsão a longo prazo da movimentação anual de cargas após a conclusão do projeto é na faixa de 32 milhões.

De qualquer forma, cabe enfatizar que a principal fonte de incerteza em projetos dessa natureza é a demanda de carga estimada a ser transportada (CARVALHO, 2015).

### 5.3.2. Economia - Frete

Para todos os Estados considerados no estudo de viabilidade do DNIT foram definidos seus polos concentradores de cargas e para cada um deles avaliada a opção de transporte existente até a cidade de Marabá –PA de onde as cargas sairão pela hidrovia de Tocantins em direção ao Porto de Vila do Conde –PA. Como resultado das análises e dos cálculos realizados pelo DNIT e expostos no estudo do Governo, apenas cinco portos foram considerados vantajosos sob a perspectiva de análise do custo do frete frente às distâncias e o modo de acesso a hidrovia do Tocantins. A tabela 5 apresenta informações sobre o trecho percorrido por cada modo em km, os custos do frete total, valor da redução do custo do frete e principal produto a ser movimentado entre os polos dos Estados e a cidade de Marabá-PA com destino final ao porto Vila do Conde.

**Tabela 5: Custo do frete total, valor da redução do custo do frete alcançado pelo uso do modo hidroviário e principais produtos movimentados**

Estado	Polo	Modo	Distância (em km)			Custo frete total (R\$)	Redução do custo - frete total (R\$)	Produto	Porto de destino
			Rodovia	Ferrovia	Hidrovia				
Maranhão	Balsas	Rodoviário	734			61,66			
		Rodo-Ferro	268	738		69,74		Soja	Vila do Conde
		Rodo-Hidro	521		567	57,94	3,72		
Pará	Santana do Uruguaia	Rodoviário	1007			84,59			
		Rodo-Ferro	546	738		93,10		Soja	Vila do conde
		Rodo-Hidro	546		567	60,04	24,55		
	Marabá	Rodoviário	479			40,24			
		Rodo-Ferro	50	738		51,43		Minério de ferro	Vila do conde
		Rodo-Hidro	50		567	18,38	21,86		
Tocantins	Miracema do Tocantins	Rodoviário	1144			96,10			
		Rodo-Ferro	418	731		81,90		Soja	Vila do conde
		Rodo-Hidro	576		567	62,56	19,34		
	Gurupi	Rodoviário	1376			115,58			
		Rodo-Ferro	651	731		101,47		Soja	Vila do conde
		Rodo-Hidro	576		567	62,56	38,91		

Fonte: DNIT (2013), MAPA (2013), adaptado

### 5.3.3. Economia - Custos sociais

A receita dos custos sociais é obtida através do cálculo do valor da redução dos seguintes fatores: poluição atmosférica, sonora, consumo de água e espaço e também número de acidentes.

A Tabela 6, expõe os dados realizados para o cálculo dos custos sociais. Ainda que em alguns estados os valores finais dos custos sociais da soja são negativos, isto é, o modo hidroviário não representa a opção de modo mais adequada sustentavelmente, há outros em que os custos sociais, do polo de origem até o porto de destino final, não são abaixo de zero. O estado do Tocantins, por exemplo, apresenta esses dois cenários.

**Tabela 6: Custo social total e valor da redução do custo social alcançado pelo uso do modo hidroviário e principais produtos movimentados**

Estado	Polo	Modo	Distância (em km)			Custo social Total (R\$)	Redução do Custo social Total (R\$)	Produto	Porto de destino
			Rodovia	Ferrovia	Hidrovia				
Maranhão	Balsas	Rodoviário	734			50.665,96			
		Rodo-Ferro	268	738		30.279,64		Soja	Vila do Conde
		Rodo-Hidro	521		567	38.776,25	-8.496,60		
Pará	Santana do Uraguaia	Rodoviário	1007			69.510,39			
		Rodo-Ferro	546	738		49.469,21		Soja	Vila do conde
		Rodo-Hidro	546		567	40.501,93	8.967,28		
	Marabá	Rodoviário	479			33.064,03			
		Rodo-Ferro	50	738		15.231,71		Minério de ferro	Vila do conde
		Rodo-Hidro	50		567	6.264,43	8.967,28		
Tocantins	Miracema do Tocantins	Rodoviário	1144			78.967,12			
		Rodo-Ferro	418	731		40.521,99		Soja	Vila do conde
		Rodo-Hidro	576		567	42.572,74	-2.050,75		
	Gurupi	Rodoviário	1376			94.981,43			
		Rodo-Ferro	651	731		56.605,32		Soja	Vila do conde
		Rodo-Hidro	576		567	42.572,74	14.032,58		

Fonte: DNIT (2013) e MT e Antaq (2015), adaptado

Como o valor final do custo social depende da projeção de movimentação das cargas pelos estados, é a demanda o principal determinante do resultado. O polo de Gurupi, em Tocantins, por exemplo, apresenta a maior receita sob o aspecto de redução de custos sociais, entretanto, o polo

de Balsas no Maranhão, possui a maior demanda de cargas. Ao final, o resultado positivo do cálculo entre custos sociais e demanda de soja dos polos dos estados de Tocantins e Pará, não conseguem abater o resultado negativo dos custos sociais impulsionado pela alta demanda do estado do Maranhão.

Apesar dos resultados referentes à soja serem negativo, a projeção de demanda do minério de ferro e seu custo social positivo fazem com que o resultado obtido seja favorável à escolha do modo hidroviário.

#### 5.4. Valores de fonte de receita final

A receita final é calculada com base nos valores apresentados anteriormente. A Tabela 7 a seguir apresenta os valores finais da economia a ser obtida por meio dos custos sociais e de frete.

**Tabela 7: Valores referentes a economia final alcançada pelo uso de vias hidroviária**

Material	Economia - Frete e Custos sociais
Minério de Ferro	R\$ 8.989,14
Soja - Maranhão	-R\$ 8.492,88
Soja - Tocantins_Gurupi	R\$ 14.071,49
Soja - Tocantins_Miracema	-R\$ 2.031,41
Soja - Pará	R\$ 8.991,83

#### 5.5. Valor Presente Líquido

O plano financeiro considerará o custo determinado do projeto de R\$ 695.007.483,68, valor integralmente financiado pelo Governo. Para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), a taxa de desconto considerada será a de 6,98% a.a. Valor referente à Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP), taxa definida como o custo básico dos financiamentos concedidos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social (BNDES, 2018).

Nessa análise, o Método de Monte Carlo foi utilizado em dois momentos. Na primeira vez, para a definição da variância por meio da taxa de retorno da variabilidade. O resultado foi atingido através de mais 20.000 iterações e optou-se pela distribuição de probabilidade normal, com média e desvio padrão baseada na previsão de demanda dos cenários analisados de soja e do minério de ferro (Tabela 8). O valor da variância foi determinado em 23,15%.

**Tabela 8: Determinação da variância. Distribuição de probabilidade normal – média e desvio padrão de cargas analisadas**

<b>Demanda analisadas ( em mil t)</b>		
Distribuição normal	Soja	Minério de ferro
Média	2.226,37	27.485,52
Desvio Padrão	567,42	13.390,45

Na segunda vez, para simulação de demanda de soja e minério dos estados. Essa nova simulação foi composta de mais de 80.000 iterações e teve como objetivo evitar a ocorrência de *overfitting* no modelo. Optou-se novamente pela distribuição de probabilidade normal realizada de acordo com as demandas de soja e minério de cada estado (Tabela 9). As receitas referentes aos custos sociais e de frete de cada ano foram calculadas com base nas demandas simuladas.

**Tabela 9: Simulação de demandas. Distribuição de probabilidade normal – média e desvio padrão de cargas analisadas**

<b>Demandas analisadas ( em mil t)</b>				
Distribuição normal	Maranhão	Pará	Gurupi	Miracema do Tocantins
Média	1.585,47	45,90	386,75	208,25
Desvio Padrão	404,08	11,70	98,57	53,07

O VPL foi alcançado a partir dos resultados das receitas obtidas, da manutenção da sinalização instalada e atualização de cartas náuticas de navegação e do investimento do projeto. Ao final da projeção de 21 anos, o valor obtido foi de R\$ R\$1.466.955.436,46. No Apêndice está exposta a tabela com detalhes sobre o cálculo do FCD e VPL.

## **5.6. Modelo de Black & Scholes do projeto**

Os valores das opções para o projeto de investimento hidroviário serão calculados e ao valor do projeto tradicional serão adicionados os valores resultantes das opções previamente já definidas: a de adiamento e a de expansão.

### 5.6.1. Análise – Opção de Adiamento

No cenário brasileiro, os adiamentos de obras a serem realizadas pelo governo são comuns. Aspectos ambientais, legais e falta de orçamento são justificativas apresentadas pelas autoridades quando um cronograma de execução não segue o planejamento determinado. Há casos de adiamento de obras públicas nos mais diversos setores brasileiros, como por exemplo, no próprio setor de transporte e também no de energia e saúde. Na tentativa de mitigar os aspectos citados anteriormente, um estudo sobre a precificação da possibilidade de adiamento de determinado investimento é uma ótima estratégia de planejamento e que deve ser assimilada nos cálculos de viabilidade dos mais diversos projetos.

Nesse estudo, opta-se pela análise das opções de adiamento ao longo do horizonte de 21 anos do projeto. O cálculo da opção real é obtido pelo modelo de Black & Scholes por meio do uso de cinco elementos: 1) taxa de juros livre de risco ( $r$ ); 2) tempo de expiração da opção ( $T$ ); 3) preço de exercício da opção ( $X$ ); 4) preço atual do projeto ( $S$ ); e 5) variação da taxa de retorno do projeto ( $\sigma$ ).

De acordo com o modelo proposto, o valor da taxa livre de risco a ser considerada é a taxa Selic, a fim de deixar o cenário mais realista, no valor de 6,50%; o preço do exercício da opção é o valor do próprio projeto de derrocamento R\$695.007.484,00, o preço atual do projeto é calculado considerando o valor presente do fluxo de caixa esperado do projeto adiado com a taxa de desconto correspondente a TJLP, no valor de 6,98% a.a. e o tempo é relacionado ao tempo de expiração da opção. A tabela 10 apresenta os valores encontrados por meio do cálculo da opção de adiamento.

**Tabela 10: Detalhes sobre os valores obtidos pelo método Black & Scholes - opção de adiamento. Valores dos VPLs expandidos**

Método Black & Scholes - Adiamento						
Ano	1	2	3	4	5	6
VP Opção Real R\$	0,07	R\$ 286.554,60	R\$ 11.805.266,43	R\$ 56.926.154,94	R\$135.577.292,24	R\$236.806.632,34
VPL Tradicional	-R\$654.607.369,10	-R\$589.401.221,35	-R\$505.034.445,03	-R\$407.936.735,95	-R\$302.644.414,16	-R\$192.333.653,24
VPL Expandido	-R\$654.607.369,04	-R\$589.114.666,75	-R\$493.229.178,60	-R\$351.010.581,01	-R\$167.067.121,93	R\$ 44.472.979,10

Os resultados auferidos indicam que a opção de adiamento somente se torna uma escolha adequada e vantajosa, sob a ótica financeira, a partir do sexto ano. A contar desse período, a demanda por exportação de soja e minério de ferro serão elevadas o suficiente para haja retorno do investimento. Caso os responsáveis pelo projeto optem pelo adiamento do empreendimento em período menor ao mencionado, essa decisão acarretará prejuízo monetário. As tabelas 11 e 12 expõem os valores utilizados nos cálculos das opções de adiamento do quinto e sexto ano.

**Tabela 11: Valor da opção real de adiamento no ano 5**

rRF	Taxa livre de risco	6,50%
t	Tempo até expirar a Opção (anos)	5
X	Custo para execução do projeto (em mil R\$)	695.007.480,00
P	Valor presente do projeto (em mil R\$)	397.285.938,69
$\sigma^2$	Variância da taxa de retorno do projeto	23,15%
d1		0,3201
d2		-0,7557
N(d1)		0,6256
N(d2)		0,2249

Valor da opção real de adiamento no ano 5: R\$ 135.577.292,24

**Tabela 12: Valor da opção real de adiamento no ano 6**

rRF	Taxa livre de risco	6,50%
t	Tempo até expirar a Opção (anos)	6
X	Custo para execução do projeto (em mil R\$)	695.007.480,00
S	Valor presente do projeto (em mil R\$)	508.397.207,63
$\sigma^2$	Variância da taxa de retorno do projeto	23,15%
d1		0,6549
d2		-0,5236
N(d1)		0,7437
N(d2)		0,3003

Valor da opção real de adiamento no ano 6: R\$ 236.806.632,34

### 5.6.2. Análise – Opção de Expansão

O investimento de capital no projeto na execução de novos serviços que possibilitem o aumento de área adequada ao uso do modo hidroviário, com a finalidade de permitir maior circulação de cargas na hidrovia, apenas ocorrerá caso o limite operacional da via seja alcançado. De acordo com os dados mostrados anteriormente, a demanda por movimentação de cargas atingirá no décimo quarto ano o seu limite.

O período de execução da obra é de um ano e são consideradas as seguintes variáveis: o valor da taxa livre de risco é a taxa Selic, a fim de deixar o cenário mais realista, no valor de 6,50%; o preço do exercício da opção é de R\$ 897 milhões, o valor do novo projeto de derrocamento; o preço atual do projeto é calculado considerando o valor presente do fluxo de caixa esperado do projeto expandido com a taxa de desconto correspondente a TJLP, no valor de 6,98% a.a., o tempo de expiração da opção, no valor de 14 anos, e variação da taxa de retorno do projeto de 23,15%. A tabela 10 abaixo apresenta os dados e resultado da opção de expansão.

**Tabela 13: Valor da opção real de expansão no ano 14**

rRF	Taxa livre de risco	6,50%
t	Tempo até expirar a Opção (anos)	14
X	Custo para execução do projeto (em mil R\$)	897.481.170,00
S	Valor presente do projeto (em mil R\$)	1.417.771.971,20
$\sigma^2$	Variância da taxa de retorno do projeto	23,15%
d1		1,6596
d2		-0,1405
N(d1)		0,9515
N(d2)		0,4441

Valor da opção real de adiamento no ano 14: R\$ 1.188.570.886,79

O valor do VPL expandido foi de R\$ 1.006.909.139,42.



## 6. CONCLUSÃO

O trabalho utilizou a Teoria de Opções Reais para análise quantitativa do projeto de investimento hídrico referente ao derrocamento do Pedral do Lourenço, na Hidrovia de Tocantins.

A escolha desse método de análise de investimento, como mostrado em todo o estudo, é uma abordagem interessante para os tomadores de decisão das mais diversas áreas de atuação pois possibilita a incorporação da flexibilidade gerencial, aspecto importante nos dias atuais e que se usado de forma correta, impacta positivamente no alcance dos objetivos estratégicos definidos pela empresa, órgão etc. Principalmente em se tratando de uso de verba pública, como é o caso desse projeto em específico.

Após desenvolvimento das etapas necessárias até aplicação do método de Black & Scholes, o uso de Opções Reais provou-se coerente para a determinação do ano de implementação do projeto. As análises mostraram a variação de valor no retorno do investimento, no período de anos considerados, tanto na escolha da opção de adiamento quanto na de expansão. Valores vistos nas Tabelas 9 e 10.

A construção do resultado utilizou como base uma previsão de demanda de exportação de soja e minério de ferro, além da economia de frete e custo social a ser atingida pela escolha do modo hidroviário. Um ponto relevante a ser levantado é que ao se optar por esses parâmetros, o resultado referente à soja não configura um cenário vantajoso financeiramente para a implementação do projeto de derrocamento do Pedral do Lourenço. Essa conclusão é explicada pelos valores negativos obtidos pela multiplicação dos valores negativos dos custos finais de frete e social e as demandas de soja dos estados do Maranhão, Tocantins e Pará somados. No caso da soja, a escolha do modo logístico mais vantajosa é a opção ferroviária.

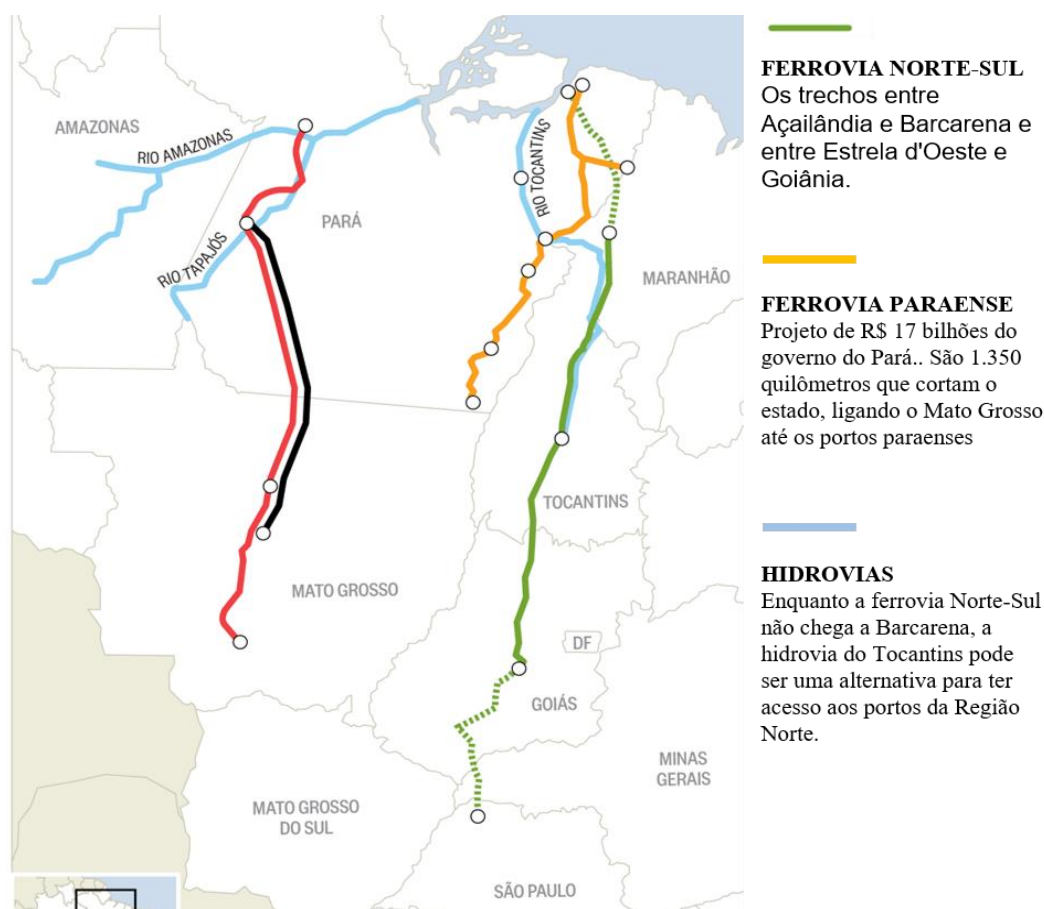
Isso acontece por conta da projeção de soja do estado do Maranhão e, em menor impacto, a do Tocantins. O primeiro, a cada ano ganha destaque no cenário brasileiro como grande produtor de soja, a cidade de Balsas, por exemplo, é conhecida como a “cidade da soja” por apresentar condições climáticas consideradas perfeitas para o cultivo do grão e cultiva 80% de toda a produção do estado (GAZETA DO POVO, 2018).

No segundo, a produção de soja está em um crescente. No ano de 2017, o estado alcançou o maior volume de produção e exportação já registrado, com crescimento de mais de 50% em

relação ao ano de 2016 (MCE, 2018). Outro ponto é que nesses dois estados, o caminho Rodo - Hidro de movimentação das cargas apresenta uma porcentagem maior a ser percorrida pelo modo rodoviário, a opção mais cara e também a pior escolha do ponto de vista ambiental dentre os modais logísticos de transporte. Essa situação poderá ser diferente no futuro, caso o governo priorize, por exemplo, a construção de rodovias que encurtem esses trajetos. Outra solução seria a substituição do caminho percorrido pelas rodovias por ferrovias.

Ainda que o modo ferroviário não seja a melhor opção ambiental, ele continua sendo uma opção melhor que o modo mais utilizado atualmente, o rodoviário. A questão é que até o momento, ano de 2019, o projeto de derrocamento do Pedral do Lourenço se encontra em nova fase de estudo e a conclusão da obra está prevista para o ano de 2022 (DNIT, 2018). Por outro lado, existem projetos direcionados também a construção de ferrovias na região no Arco Norte e que estão aparentemente mais encaminhados: a Ferrovia Paraense e a expansão Norte -Sul (Figura 12).

**Figura 12: Projetos logísticos no Norte do país – Obras**



Fonte: Site O Globo (2016), adaptado.

Como pode ser observado, essas duas construções direcionam as mercadorias para os portos paraenses e dessa forma, podem ser consideradas alternativas mais viáveis de escoamento de produção. Houve também a renovação da concessão da estrada de ferro Carajás. Por conta dessa renovação, o governo, após pressão do governador do Pará, destinou 1 bilhão de reais às ferrovias através da criação do Fundo Nacional de Desenvolvimento Ferroviário (FNDF). O Estado do Pará terá prioridade nos investimentos do novo fundo para garantir a ligação entre Açailândia (MA) e Barcarena (PA), conectando a Ferrovia Norte- Sul ao porto de Vila do Conde.

### **Sugestões de pesquisas**

Como sugestão de novas pesquisas pode ser cogitada a inclusão de novos parâmetros de análise desse projeto, como por exemplo, a questão da manutenção. Atualmente, não há dados claros e quantitativos sobre os custos de manutenção das vias e nem duração de vida útil da infraestrutura dos modais logísticos. Em todas as buscas feitas durante esses meses de pesquisa, os custos apenas são definidos como baixos ou altos, informação não relevante ao cálculo quantitativo.

Outra sugestão é ampliar o estudo da demanda. Além de agrícola e mineral, a realização do projeto desempenhará papel importante no escoamento da produção pecuária. E por esse motivo, seria interessante entender o contexto da pecuária no agronegócio brasileiro e qual o impacto da adição dessa variável aos cálculos das Opções Reais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. *PNIH – Extensão das vias Economicamente Navegadas*. Nota Técnica n. 009/2012 GDI. ANTAQ, Brasília, 2012.

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários. *PNIH – Plano Nacional de Integração Hidroviária*. 2013.

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquáticos. Apresentação das Estatísticas de 2017. 2017.

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquáticos. *Relatório de Desempenho do Setor Aquaviário - 1/2017*. 2017.

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. Dados Complementares. Reunião Participativa n. 13/2013, 2013.

ASSAF NETO, A. *Finanças Corporativas e valor*. Terceira Edição. São Paulo: Atlas, 2007.

BAIDYA, T.K.N. & CASTRO, A. L. *Convergência dos Modelos de Árvores Binomiais para Avaliação de Opções*. Pesquisa Operacional, v 21, n 1, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

BLACK, F., e SCHOLES, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *The Journal of Political Economy*, 81(3), pp. 637-654.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. *Taxa de Juros de Longo Prazo - TJLP*. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/guia/custos-financeiros/taxa-juros-longo-prazo-tjlp>>. Acesso em: 08 nov. 2018.

BRANDÃO, M.C. *Análise dos Parâmetros que Influenciam a Obtenção do Valor da Flexibilidade por Opções Reais no Setor Elétrico*. Dissertação de Mestrado, UNIFEI. Itajubá, 2010.

BRASIL. República Federativa do Brasil – Relatório de Investimentos Federais – PAC 2. Disponível em: <http://www.pac.gov.br/> . 2018.

CAPB - Confederação de Agricultura e Pecuária do Brasil. *Relatório sobre a Infraestrutura Logística: Desafios para Escoamento dos Produtos Agropecuários*. 2017.

CASAROTTO FILHO, N., & KOPITTKE, B. H. *Análise de Investimentos*. 11ª edição. Atlas. São Paulo. 2010.

CARVALHO, E.B. *Proposta Alternativa de Avaliação Econômica Aplicada a Investimentos em Infraestrutura Hidroviária Brasileira Utilizando Opções Reais*. 2015. 139 p. Tese (Doutorado em Transporte) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

CEDE - Centro de Estudos e Debates Estratégicos. *Arco Norte: Um Desafio Logístico*. 2016. 392 p.

CNT - Confederação Nacional dos Transportes. Plano CNT de transporte e logística 2014. 2015.

*Conheça a lista dos projetos já concluídos e os programados para 2018*. Avançar Parcerias. 24 abril 2018. Disponível em: <<http://www.avancarparcerias.gov.br/conheca-a-lista-dos-projetos-ja-concluidos-e-os-estao-programadospara-2018>>. Acesso em: 10 maio 2018.

COPELAND, T; ANTIKAROV, V. *Opções Reais: Um Novo Paradigma para Reinventar a Avaliação de Investimentos*. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

COX, J., S. ROSS, M. RUBINSTEIN. Option pricing: A simplified approach. *Journal Financial Economics*, n. 07, p. 229-263. 1979.

DAMODARAN, A. *Avaliação de Investimentos: Ferramentas e Técnicas para a Determinação do Valor de Qualquer Ativo*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

*Demora nas obras do Pedral do Lourenço afeta a economia no Pará*. G1. 1 dez. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pa/para/noticia/demora-nas-obras-do-pedral-do-lourenco-afetam-a-economia-no-para.ghtml>>. Acesso em: 10 out. 2018.

*Desperdício: país tem 7 mil obras paradas e muitas podem ser abandonadas*. Gazeta do Povo. 25 jun. 2018. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/politica/republica/desperdicio-pais-tem-7-mil-obras-paradas-e-muitas-podem-ser-abandonadas-6oqn1he1hzgliz5y1ezbok9m/>>. Acesso em: 12 set. 2018.

DEZEN, F. J. P. *Opções Reais Aplicadas à Escolha de Alternativa Tecnológica para o Desenvolvimento de Campos Marítimos de Petróleo*. Dissertação [Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo] – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2001.

DH - Departamento Hidroviário. *Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica – Plano de Investimentos 2011-2014*. 2012.

DIXIT, A. K. & PINDYCK, R. S. *Investment under Uncertainty*. New Jersey, Princeton: University Press, 1994.

DIWAN, J. R. *Análise de Alternativas de Investimento na Área Petrolífera sob a Ótica das Opções Reais Embutindo a Opção do Investimento em Informação*. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Produção] - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura do Transporte. *Anteprojeto de Derrocamento Hidrovia de Tocantins*. 2015.

DNIT e MTPA – Departamento Nacional de Infraestrutura do Transporte e Departamento Nacional de Infraestrutura do Transporte e Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. *O Derrocamento do Pedral do Lourenço e seu Impacto na Logística Intermodal de Transporte via Hidrovia do Tocantins – Araguaia*. 2017.

FARIELLO, D. Avançam projetos para escoar grãos pelo Norte. *O Globo*, 14 março 2016. Economia. Disponível em: <<https://www.oglobo.globo.com/economia/avancam-projetos-para-escoar-graos-pelo-norte-18868477>>. Acesso em: 12 set. 2018.

FRISCHTAK, C; MOURÃO, J. *O Estoque de Capital de Infraestrutura no Brasil: Uma abordagem setorial in Desafios da Nação*. Brasília: IPEA, 2017.

GAZZI, L. M. P. *Decisão de Investimento em Ambiente de Incertezas Integrada à Análise de Viabilidade de Projetos de Subtransmissão e Distribuição*. Dissertação [Mestrado em Engenharia Elétrica] - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, SP, 2010.

GITMAN, L. J. *Princípios de administração financeira*. 10. Ed. São Paulo: Person Ed, 2004.

HENRY, C. Option Values in the Economics of Irreplaceable. *Review of Economics Studies*, n. 41, p. 89-104, jan 1974.

LAZO, J. G. L. *Determinação do Valor de Opções Reais por Simulação Monte Carlo com Aproximação por Números Fuzzy e Algoritmos Genéticos*. Tese [Doutorado em Engenharia Elétrica] - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ, 2004.

LIMA, G. A. C. & SUSLICK, S. B. Quantificação do momento de investir em ativos minerais por meio da Teoria das Opções Reais. *Revista Esc. Minas*, v 54, n 2, Ouro Preto, 2001.

LUEHRMAN, T.A. investment opportunities as real options: getting started on the numbers *Harvard Business Review*, p. 51-67, jul/aug 1998.

MACEDO, M. A. S. & NARDELLI, P. M. *Utilizando Opções Reais na Análise de Viabilidade de Projetos de Investimento Agropecuários: Um Ensaio Teórico*. XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Rio Branco, AC, 2008.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio: Brasil 2012/2013 a 2022/2023 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. – Brasília: Mapa/ACS. 2013.

MARTINS, E. *Avaliação de empresas: da mensuração contábil à econômica*. São Paulo: Atlas, 2001.

MINARDI, A. M. A. F. *Teoria das Opções aplicada a projetos de investimento*. São Paulo: Atlas, 2004.

MP – Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. *Manual de apresentação de estudos de viabilidade de projetos de grande vulto*. Versão 2.0. MP, Brasília. 2009.

MT – Ministério dos Transportes e MD – Ministério da Defesa. *PNLT – Plano Nacional de Logística e Transportes*. MT, Brasília. 2007.

MT – Ministério dos Transportes. *Diretrizes da política nacional de transporte aquaviário*. MT, Brasília. 2010.

MT- Ministério do Trabalho. *Plano Hidroviário Estratégico*. 2013.

MT - Ministério do Trabalho. *Relatório de Transporte de 2015*. 2015.

MUÑOZ, D. F. *Avaliação de Projetos de Tecnologia: Entendimento Método de Opções Reais e Aplicação*. Graduação [Engenharia de Produção] - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2010.

NORONHA, J. C. *Opções Reais Aplicadas à Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produto em Uma Indústria de Autopeças*. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Produção] - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2009.

*Orçamento proposto para o dnit em 2019 é menor que o valor aprovado no congresso para 2018*. ABDIB. 6 set. 2018. Disponível em: <<https://www.abdib.org.br/2018/09/06/orcamento-proposto-para-o-dnit-em-2019-e-menor-que-o-valor-aprovado-no-congresso-para-2018/>>. Acesso em: 28 set. 2018.

PALMEIRA, C. B. P. *Teoria Das Opções Reais: Sua Aplicação Na Avaliação Econômica De Um Projeto Florestal*. Graduação (Engenharia de Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

POMERANZ, L. *Elaboração e Análise de Projetos*. São Paulo: HUCITEC, 1988.

QUIGG, L. Empirical Testing of Real Options Pricing Models. *The Journal of Finance*, v. 48, n. 2, p. 621-639, jun 1993.

RIBEIRO, C. CNA constata baixo uso e ineficiência de ferrovias, hidrovias e rodovias. *Globo Rural* – Colunas. 22 maio 2018. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Colunas/caminhos-da-safra/noticia/2017/05/cna-constata-baixo-uso-e-ineficiencia-de-ferrovias-hidrovias-e-rodovias.html>>. Acesso em: 10 set. 2018.

RIBEIRO, L. Medida Provisória cria fundo para ferrovias do Pará. *Estadão*, São Paulo, 24 jul. 2018. Economia & Negócios. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,medida-provisoria-cria-fundo-para-ferrovias-do-para,70002412552>>. Acesso em: 28 set. 2019.



ROCHA, C. H. e BRITTO, P. A. P. (2012). Marco regulatório do transporte rodoviário interestadual de passageiros e opções reais. *Journal of Transport Literature*, vol. 6, n. 3, p. 34-48.

RONCHI, R. D. C., MOURA, G. A. and ROCHA, C. H. (2013). Mensuração do custo social subjacente à atual frota autônoma de caminhões da agropecuária nacional - um estudo de caso: soja, café e boi em pé. *Journal of Transport Literature*, vol. 7, n. 2, p. 52-77.

SANTOS FILHO, A. D. *Teoria das Opções Reais Aplicada a Projetos de Investimento em Prestação de Serviços de Tecnologia da Informação*. Dissertação [Mestrado] - Fundação Getúlio Vargas - Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas - Centro de Formação Acadêmica e Pesquisa, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

SOUSA NETO, J. A.; BERGAMINI JÚNIOR, L. C. & OLIVEIRA, V. I. *Opções Reais: Introdução à Teoria e à Prática*. Qualitymark, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

TRIGEORGIS, L. *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation* Cambridge, MA: The MIT Press, 2000. 427 p.

TRIGEORGIS, L. *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation* Cambridge, MA: MIT Press, 1995. (Capítulo 9.)

VETTER, S. O. e CARVALHO, E. B. *Avaliação dos Prazos e Valores das Obras de Infraestrutura Aquaviária do PAC 1 e PAC 2*. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário do Distrito Federal – UDF. Brasília – DF. 2014.

VILLELA, T. M. A. *Estrutura para exploração de portos com autoridades portuárias privadas*. Tese de doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 2013.

## APÊNDICE

Fluxo de caixa do projeto e Valor Presente Líquido do Projeto. Apenas investimento inicial para execução da obra.

INVESTIMENTO	SINALIZAÇÃO DE CARTAS NÁUTICAS	VPS					VPL
		SOJA				MINÉRIO DE FERRO	
		Maranhão Região S	Pará Região SE	Tocantins		Pará Marabá	
				Gurupi	Miracema		
-695.007.480,00							
	-R\$ 1.121.704,99	-R\$ 8.193.207,85	R\$ 251.146,77	R\$ 5.096.544,26	-R\$ 735.756,79	R\$ 45.103.089,50	-R\$ 654.607.369,10
	-R\$ 1.048.518,41	-R\$ 7.976.235,93	R\$ 244.278,46	R\$ 4.957.811,75	-R\$ 715.728,83	R\$ 69.744.540,72	-R\$ 589.401.221,35
	-R\$ 980.106,94	-R\$ 7.887.349,73	R\$ 241.479,18	R\$ 4.905.540,62	-R\$ 708.182,77	R\$ 88.795.395,96	-R\$ 505.034.445,03
	-R\$ 916.159,04	-R\$ 7.816.804,58	R\$ 239.220,18	R\$ 4.864.694,56	-R\$ 702.286,08	R\$ 101.429.044,03	-R\$ 407.936.735,95
	-R\$ 856.383,47	-R\$ 7.710.381,25	R\$ 235.906,15	R\$ 4.793.877,13	-R\$ 692.062,60	R\$ 109.521.365,83	-R\$ 302.644.414,16
	-R\$ 800.508,02	-R\$ 7.549.447,41	R\$ 230.936,15	R\$ 4.694.367,80	-R\$ 677.697,05	R\$ 114.413.109,44	-R\$ 192.333.653,24
	-R\$ 748.278,20	-R\$ 7.348.133,55	R\$ 224.861,52	R\$ 4.570.716,78	-R\$ 659.846,31	R\$ 117.209.525,36	-R\$ 79.084.807,64
	-R\$ 699.456,16	-R\$ 7.125.384,17	R\$ 218.187,15	R\$ 4.434.288,62	-R\$ 640.151,02	R\$ 118.698.994,65	R\$ 35.801.671,44
	-R\$ 653.819,55	-R\$ 6.890.001,36	R\$ 211.041,29	R\$ 4.287.509,82	-R\$ 618.961,46	R\$ 119.069.326,09	R\$ 151.206.766,28
	-R\$ 611.160,55	-R\$ 6.656.250,35	R\$ 203.707,65	R\$ 4.139.567,05	-R\$ 597.603,87	R\$ 118.684.766,18	R\$ 266.369.792,39
	-R\$ 571.284,86	-R\$ 6.412.029,53	R\$ 196.482,54	R\$ 3.988.691,38	-R\$ 575.822,88	R\$ 117.758.331,15	R\$ 380.754.160,19
	-R\$ 534.010,90	-R\$ 6.172.485,30	R\$ 189.196,62	R\$ 3.839.890,15	-R\$ 554.341,36	R\$ 116.407.456,45	R\$ 493.929.865,84
	-R\$ 499.168,91	-R\$ 5.941.098,32	R\$ 182.081,06	R\$ 3.695.123,51	-R\$ 533.442,29	R\$ 114.849.658,89	R\$ 605.683.019,77
	-R\$ 466.600,22	-R\$ 5.714.644,63	R\$ 175.183,79	R\$ 3.558.435,24	-R\$ 513.709,44	R\$ 113.097.738,12	R\$ 715.819.422,63
	-R\$ 436.156,49	-R\$ 5.505.247,66	R\$ 168.706,13	R\$ 3.427.820,98	-R\$ 494.853,46	R\$ 111.425.064,27	R\$ 824.404.756,40
	-R\$ 407.699,10	-R\$ 5.310.024,48	R\$ 162.620,03	R\$ 3.304.973,05	-R\$ 477.118,66	R\$ 109.834.921,12	R\$ 931.512.428,36
	-R\$ 381.098,43	-R\$ 5.130.491,74	R\$ 157.116,01	R\$ 3.191.019,41	-R\$ 460.667,87	R\$ 108.398.409,81	R\$ 1.037.286.715,54
	-R\$ 356.233,34	-R\$ 4.971.085,76	R\$ 152.153,24	R\$ 3.090.966,95	-R\$ 446.223,92	R\$ 107.518.469,15	R\$ 1.142.274.761,87
	-R\$ 332.990,60	-R\$ 4.842.299,78	R\$ 148.309,46	R\$ 3.012.502,64	-R\$ 434.896,50	R\$ 107.520.404,58	R\$ 1.247.345.791,67
	-R\$ 311.264,34	-R\$ 4.765.796,77	R\$ 146.097,57	R\$ 2.965.461,09	-R\$ 428.105,41	R\$ 109.131.186,76	R\$ 1.354.083.370,57
	-R\$ 290.955,64	-R\$ 4.845.256,62	R\$ 148.208,37	R\$ 3.010.580,50	-R\$ 434.619,02	R\$ 115.284.108,30	R\$ 1.466.955.436,46

Fluxo de caixa do projeto e Valor Presente Líquido do Projeto. Investimento inicial mais investimento na expansão da obra.

ANO	INVESTIMENTO	SINALIZAÇÃO DE CARTAS NÁUTICAS	VPS						VPL
			SOJA				MINÉRIO DE FERRO		
			Maranhão	Pará	Tocantins		Pará		
			Região S	Região SE	Gurupi	Miracema	Marabá		
0	-695.007.480,00								
1		-R\$ 1.121.704,99	-R\$ 8.193.207,85	R\$ 251.146,77	R\$ 5.096.544,26	-R\$ 735.756,79	R\$ 45.103.089,50	-R\$ 654.607.369,10	
2		-R\$ 1.048.518,41	-R\$ 7.976.235,93	R\$ 244.278,46	R\$ 4.957.811,75	-R\$ 715.728,83	R\$ 69.744.540,72	-R\$ 589.401.221,35	
3		-R\$ 980.106,94	-R\$ 7.887.349,73	R\$ 241.479,18	R\$ 4.905.540,62	-R\$ 708.182,77	R\$ 88.795.395,96	-R\$ 505.034.445,03	
4		-R\$ 916.159,04	-R\$ 7.816.804,58	R\$ 239.220,18	R\$ 4.864.694,56	-R\$ 702.286,08	R\$ 101.429.044,03	-R\$ 407.936.735,95	
5		-R\$ 856.383,47	-R\$ 7.710.381,25	R\$ 235.906,15	R\$ 4.793.877,13	-R\$ 692.062,60	R\$ 109.521.365,83	-R\$ 302.644.414,16	
6		-R\$ 800.508,02	-R\$ 7.549.447,41	R\$ 230.936,15	R\$ 4.694.367,80	-R\$ 677.697,05	R\$ 114.413.109,44	-R\$ 192.333.653,24	
7		-R\$ 748.278,20	-R\$ 7.348.133,55	R\$ 224.861,52	R\$ 4.570.716,78	-R\$ 659.846,31	R\$ 117.209.525,36	-R\$ 79.084.807,64	
8		-R\$ 699.456,16	-R\$ 7.125.384,17	R\$ 218.187,15	R\$ 4.434.288,62	-R\$ 640.151,02	R\$ 118.698.994,65	R\$ 35.801.671,44	
9		-R\$ 653.819,55	-R\$ 6.890.001,36	R\$ 211.041,29	R\$ 4.287.509,82	-R\$ 618.961,46	R\$ 119.069.326,09	R\$ 151.206.766,28	
10		-R\$ 611.160,55	-R\$ 6.656.250,35	R\$ 203.707,65	R\$ 4.139.567,05	-R\$ 597.603,87	R\$ 118.684.766,18	R\$ 266.369.792,39	
11		-R\$ 571.284,86	-R\$ 6.412.029,53	R\$ 196.482,54	R\$ 3.988.691,38	-R\$ 575.822,88	R\$ 117.758.331,15	R\$ 380.754.160,19	
12		-R\$ 534.010,90	-R\$ 6.172.485,30	R\$ 189.196,62	R\$ 3.839.890,15	-R\$ 554.341,36	R\$ 116.407.456,45	R\$ 493.929.865,84	
13		-R\$ 499.168,91	-R\$ 5.941.098,32	R\$ 182.081,06	R\$ 3.695.123,51	-R\$ 533.442,29	R\$ 114.849.658,89	R\$ 605.683.019,77	
14	-897.481.170,00	-R\$ 466.600,22	-R\$ 5.714.644,63	R\$ 175.183,79	R\$ 3.558.435,24	-R\$ 513.709,44	R\$ 113.097.738,12	-R\$ 181.661.747,37	
15		-R\$ 436.156,49	-R\$ 5.505.247,66	R\$ 168.706,13	R\$ 3.427.820,98	-R\$ 494.853,46	R\$ 111.425.064,27	-R\$ 73.076.413,60	
16		-R\$ 407.699,10	-R\$ 5.310.024,48	R\$ 162.620,03	R\$ 3.304.973,05	-R\$ 477.118,66	R\$ 109.834.921,12	R\$ 34.031.258,36	
17		-R\$ 381.098,43	-R\$ 5.130.491,74	R\$ 157.116,01	R\$ 3.191.019,41	-R\$ 460.667,87	R\$ 108.398.409,81	R\$ 139.805.545,54	
18		-R\$ 356.233,34	-R\$ 4.971.085,76	R\$ 152.153,24	R\$ 3.090.966,95	-R\$ 446.223,92	R\$ 107.518.469,15	R\$ 244.793.591,87	
19		-R\$ 332.990,60	-R\$ 4.842.299,78	R\$ 148.309,46	R\$ 3.012.502,64	-R\$ 434.896,50	R\$ 107.520.404,58	R\$ 349.864.621,67	
20		-R\$ 311.264,34	-R\$ 4.765.796,77	R\$ 146.097,57	R\$ 2.965.461,09	-R\$ 428.105,41	R\$ 109.131.186,76	R\$ 456.602.200,57	
21		-R\$ 290.955,64	-R\$ 4.845.256,62	R\$ 148.208,37	R\$ 3.010.580,50	-R\$ 434.619,02	R\$ 115.284.108,30	R\$ 569.474.266,46	

### Detalhes do cálculo das opções de adiamento.

X	R\$	695.007.480,00					
r		6,50%					
σ <sub>2</sub>		23,15%					
Ano(T)		1	2	3	4	5	6
S		41.521.815,89	107.776.482,05	193.123.365,31	291.137.233,43	397.285.938,69	508.397.207,63
d1		-5,4811	-2,2082	-0,8861	-0,1530	0,3201	0,6549
d2		-5,9622	-2,8886	-1,7194	-1,1152	-0,7557	-0,5236
N(d1)		0,0000	0,0136	0,1878	0,4392	0,6256	0,7437
N(d2)		0,0000	0,0019	0,0428	0,1324	0,2249	0,3003
VP Opção Real	R\$	0,07	R\$ 286.554,60	R\$ 11.805.266,43	R\$ 56.926.154,94	R\$ 135.577.292,24	R\$ 236.806.632,34
VPL Tradicional	-R\$	654.607.369,10	-R\$ 589.401.221,35	-R\$ 505.034.445,03	-R\$ 407.936.735,95	-R\$ 302.644.414,16	-R\$ 192.333.653,24
VPL Expandido	-R\$	654.607.369,04	-R\$ 589.114.666,75	-R\$ 493.229.178,60	-R\$ 351.010.581,01	-R\$ 167.067.121,93	R\$ 44.472.979,10